

هو الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون * في تطبيق

المهندسة على الفنون * أبرزه من الفرنسية الى العربية

راجي رحمة المعيد المبدى * الفقير مولاه السيد

صالح افندي * غفر الله ذنوبه وسستر

في الدارين عيوبه

امين

فهرسة الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون

في تطبيق الهندسة على الفنون

صيفه

٢	بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
	الدرس الاول في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية
٢	على العموم
٣	بيان الاقيسة الهندسية
٣	بيان اقيسة الطول
٧	بيان اقيسة السطوح
٨	بيان اقيسة الاتساع
٨	بيان اقيسة الميكانيكا وهي الاثقال
٩	بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود
	الدرس الثاني في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاولى
٢١	وتطبيقها على الآلات
٢٤	بيان قوانين التحرك الاولى
٢٥	بيان التوازن
٣٦	بيان التناقل
٤٢	الدرس الثالث في بيان القوى المتوازية
	الدرس الرابع في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كيفية
٥٨	القوى
٦٤	بيان مركز ثقل السطوح
٦٤	بيان مركز ثقل المثلث
٦٥	بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع
٦٧	بيان مقادير القوى المتوازية
٨٢	بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

صحيفه

- ٨٤ الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك
- الدرس السادس في بيان الالات البسيطة وهي الحبال والقناطر
- المعلقة وعدد خيول العربات وادوات السفن ولوازمها وما شبه
- ١٠٣ ذلك
- ١٠٣ بيان الحبال
- ١٠٦ بيان الكبش (اي الشاهردان) وهو الآلة المعدة لدق الخواير
- ١١٩ بيان القناطر المعلقة
- الدرس السابع في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة
- للحبال والقضبان والمجالات والطيارات وفي مقادير الاينرسى
- ١٢٦ وفي البندولات
- ١٤٧ بيان البندول
- ١٥٧ بيان معادل الآلات البخارية
- ١٥٨ الدرس الثامن في بيان الرافعة
- ١٦٦ بيان الرافعة التي من النوع الاول
- ١٧٢ بيان الرافعة التي من النوع الثاني
- ١٧٢ بيان الرافعة التي من النوع الثالث
- ١٧٥ الدرس التاسع في بيان البكرات والملفات
- ١٨٠ بيان البكر المتحركة
- ١٨٩ بيان التناقل في البكرات
- ١٩٨ الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضرسة
- ٢٠٣ بيان تأثيرات التناقل في المنجنون
- الدرس الحادى عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة
- ٢١٩ والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة
- ٢٣٨ بيان المستويات المائلة

صيفه

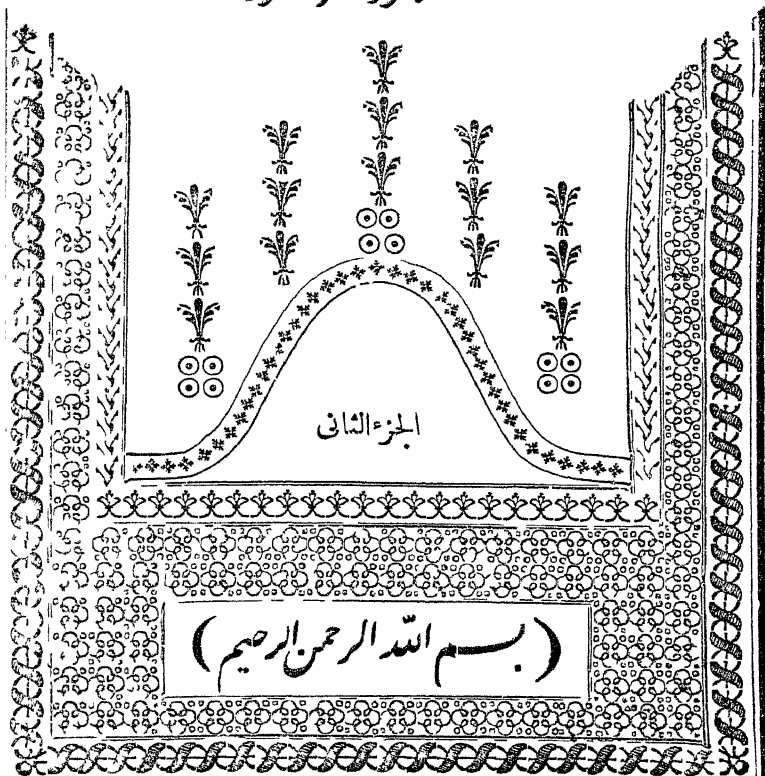
- الدرس الثاني عشر في بيان البرص والتهنئة والحبال والخابور
 وسائر الالات التي من هذا القبيل ٢٤٤
 بيان التواء الحبال ٢٥٢
 بيان الخابور ٢٥٤
 الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الالات من الاحتكاك ٢٦٥
 الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشدة والمرونة على العموم ٢٨٦
 الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام ٣٠٧ *

بيان ما وقع من الخطا والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز
السرامصون في تطبيق الهندسة على الفنون

خطا	صواب	صحيفه	سطر
اقيسة الاتساع	المكايل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكايل	٨	٢
اقيسة السعة	المكايل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عدتها	اعدتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	١١	٣٣	١٨
ا	١١	٣٣	١٩
ا	١١	٣٣	٢٤
كمية القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلا فطة	صناع	٧٣	٧
٢	١	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
ص	ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥٠
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذ انزلنا	اذ انزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيفه	سطر
ای المتجنیق	ای المتجنون (وهكذا كلما جاء في هذا الجزء متجنیق فصوابه متجنون)	١٠٣	١٢
بالنظرت	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث ص ز صه	ث ص ز صه	١٠٨	٥
اسه	اصه	١٠٩	١٤
ف ص	ف ض	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي كية التحرك	فتكون كية تحرك م	١٤٢	٢
من نقطة ل	من نقطة د	١٦١	٢١
على لسان	على جمالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل ×	ل ×	١٧٤	١٨
س × ل	س × ل	١٧٤	١٩
خ خ	خ خ	١٧٨	٢
ح × ح	ح × ح	١٨٤	٤
ح ٢	ح ×	١٨٥	٩
(ث +)	(ث +)	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من ثقل	من مركز ثقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

[illegible]



(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستظرفة)

(الدرس الاول)

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)
اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وبقياها يحدث في علم الحساب
طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتوقعة
من كل خاصية
ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم
الطبيعة الاصلية وكما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب
الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن
اكتسابها بدون العلم المذكور

ولنقتصر الآن على معرفة الاقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا واما الاقيسة
الاصلية التي لا فائدة لها الا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فستبينها
مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

(بيان الاقيسة الهندسية)

تطلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح
والججوم وتستعمل تلك الاقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات
المشغولة والمقطوعة بالنقطة والخطوط والسطوح والاجسام

(بيان اقيسة الطول)

اتفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد او قليله وجعله
وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الازمنة والامكنة
والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى الفرنسية والنسائية والايطاليين
والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس اطوال وحدة مختلفة بل ترى
في الغالب الامة الواحدة تستعمل في اقاليمها المتسعة اقيسة للطول غير متماثلة
بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به
مخالطة الاهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الاحاد
المتضادة المعدة لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل
ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم
تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعاد والاسعار

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن بوجه في وسائط
التحويل المذكور نقص بين يغش به من ليس معه زمن كاف ولا قدرة له
على فهم مثل تلك الحسابات المشككة التي لم ترل آخذة في الزيادة فاذن يجب
على كل مملكة أن لا تستعمل في جميع اراضيها الانوعا واحدا من الاقيسة

واذا امكن النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامة المتقدمة نظرا
لمخاطباتهم الاهلية

ومن ثم كانت مملكة البلاد الواطية وقسم من بلاد السويدية والبيومون
ومملكة إيطاليا القديمة ومملكة نابلي تستعمل الان انواع الاقيسة التي
اصطلح عليها الفرنسية ولولا ما وجد عند بعض الامم من المنافسة والغيرة
لاستعملت تلك الانواع عند جميع الملل المتقدمة في المعارف

ثم ان وحدة اقيسة الطول التي كانت مستعملة قديما ليس لها في الطبيعة اصل
ثابت يعول عليه في استعمال هذه الوحدة في سائر الارضين والاكثمة واخذوا
قديما القدم والتواز على طول قامة وقدم من انسان طويل القامة ولكن
حيث كان يندرج وجود شخصين متعددين في طول القدم والقامة لزم انهم
لوفقدوا مقدار القدم والتواز المنقذ من لتعذر عليهم ايجاد هذه الوحدة
ثابتا مع مزيد الضبط والصحة

ولاعن لعلماء الفرج أن يقيسوا على سطح الارض المسافة التي بين القطب
وخط الاستواء من الشمال الى الجنوب تابعين اتجاه خط من خطوط نصف
النهار اجروا هذه العملية النفيسة مع النجاح الذي عظم به شأن الطرق العلمية
والآلات الميكانيكية والمعارف والمراظبة وشجاعة مشاهير الرجال الذين
شرعوا واستمروا على هذا العمل الجسيم
وذلك انهم بعد أن قوموا طول المسافة المذكورة مع غاية الضبط الذي توصل
اليه لصناعة قسموه الى عشرة ملايين متساوية الاجزاء واخذوا احدها
الاجزاء وجعلوه وحدة للطول وسماهوه مترا

والمتريساوي بمقابلته للاقيسة القديمة ٣ اقدام و ١١ خطا و ٢٩٦
من الف من خط اعنى انه اقل من ٣ اقدام وقيراط

فادا لم يكن هناك الامسافات مختلفة قليلا وكانت لا تحتاج الى مزيد الضبط
امكن استعمال نوع واحد من الآحاد وترك الكسور الا ان هناك مسافات
عديدة او اطوالا كثيرة ينبغي قياسها باقل من المتر وهذا من البديهييات
فان هناك اشياء لم يبلغ طولها مترا واحدا وبناء على ذلك لزم تقسيم الوحدة
الاصيلة للاقيسة الى تقسيمات اولية وثانوية

وبذلك ظهرت احدى الفوائد العظيمة الناشئة عن الطريقة الجديدة
ثم ان طريقة العددي باب العددي تكون بالاحاد والعشرات والمئات و بالآحاد
الالف وهكذا بان نبدأ بالآحاد من عشرة الى عشرة اكبر منها اذا راعينها
تركيب الارقام من اليمين الى الشمال ومن عشرة الى عشرة اصغر منها
اذا راعينها العكس اى من الشمال الى اليمين

وهذه الطريقة مطابقة لطريقة الاقيسة الفرنسية الجديدة والانسيب أن يقال
انها عين الطريقة الداخلة في ضروب الاقيسة الفرنسية وتقسيماتها الثانوية
وقد قسموا اولا المتر الى عشرة اجزاء وهى الديسمتر ثم قسموا الديسمتر
الى عشرة اجزاء وهى عشر العشر اى مائة المتر وتسمى السنتمتر ثم قسموا
السنتمتر الى عشرة اجزاء وهى اعشار السنتمتر اى اعشار المائة اعنى جزء
من الف من المتر وتسمى مليمترا وهلم جرا

وقد اسلفنا ان هنالك اشياء لا يبلغ طولها مترا فبناء على ذلك ينبغي أن يكون
هنالك احاد صغيرة لقياس الاشياء الصغيرة الابعاد والمسافات القصيرة
واحاد كبيرة لقياس الاشياء الكبيرة الابعاد والمسافات الطويلة
فن ثم اخذوا طولاً يبلغ عشرة امتار ليصنعوا منه القياس المسمى بالديكامتر
وطولا مقداره عشرة ديكامترات او مائة متر ليصنعوا منه القياس المسمى
بالاكتومترا

وطولا مقداره عشرة اكتوبرات اى مائة متر مكررة عشرة مرات اعنى
الف متر ليصنعوا منه القياس المسمى بالكيلومتر
وطولا مقداره الف متر مكررا عشرة مرات اعنى عشرة آلاف متر ليصنعوا
منه القياس المسمى بالميريامتر

وكل عشرة من الميريامتر تساوى درجة مئتين من الارض اى ١٠٠
جزء من البعد المحصور بين القطب وخط الاستواء المقيس على خط من
خطوط نصف النهار

ودرجة الارض العرضية تساوى عشرة من الميريامتر
والدقيقة تساوى كيلومترا

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملمترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانسا وسككها
وفي الاشغال الهيئة الانوعا واحدا من ابتداء ملمتر بسيط الى الدورة الكاملة
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكلمنا فيه
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار
في كثير من عمليات الملاحة والطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا
الممزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هي سهولة جميع عمليات الحساب
على مماسها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من
الاكثومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تشوش الذهن
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة
الذهن منها وترك التللفظ بها والاتيان بدلها بعشرات المتر ومئاته وهلم جرا
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهى الدستمر والستيمتر والملمتر الخ تكتب كالكسور
الاعشارية على يمين الامتار وتجري عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد
الصحيحة (الا انه يوضع بينها وبين الصحيحة شرطة تفصلها عنها مثلا ٤ و ٥
يعنى خمسة امتار واربعه اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يزالوا

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخالي عن
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسأمة وهو مع ذلك
عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي
قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثانوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالاجزاء الضلعية
تستدعي عمليات صعبة يفرغ منها الاطفال اصعوبها وكانت تستغرق
في تعليمها عدة سنوات لتكامل مدرسيها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها
للاطفال من ابتداء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها
على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سذكرها
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم
او عند الامة الفرنسية خاصة لما انها تعتبرها كالآثار المالية الان الا وهام
الفساد وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة
ثم ان المتر اصل لما عده من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه
وهو ايضا اصل لساير اقيسة السطوح والحجوم والاثقال وغير ذلك

*(بيان اقيسة السطوح) *

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع
والا وهو المربع الذي طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كاية عن عشرة
صفوف من كبة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع (كما هو مقرر
في الدرس الرابع من الهندسة)

والا كثار هو المربع الذي طوله عشرة ارات وعرضه كذلك فهو عبارة
عن عشرة صفوف من كبة من عشرة ارات مربعة او مائة اتر مربع ويستعمله
الفرنساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوا عن القصبة
القديمة

(بيان اقيسة الاتساع)

المتر المكعب المسمى بالاستير هو وحدة الحجم والاتساع
فال مكعب الذي يبلغ دسترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دستر مكعب
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اوانى يبلغ داخلها
دسترا مكعبا وسجوها لترّا واستعملوها فى قياس الموائع والجوامد من
حبوب و تراب وغيرهما

واما الاكتولتر فهو وعاء اكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على
مائة لتر * والاكتومتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم اللتر الى عشرة دسلترات او الى مائة
سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسترات او مائة
سنتتر او الف مللتر

ثم ان ما يو جد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة
واسماءها مقبول وملائم لما يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه
الاسماء بمرور لولائها

ولامانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بينها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث
انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها
اقيسة اخرى تحتها جميع العلوم والفنون الميكانيكية

(بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتقال)

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فلولها المانع لقرب منه
بان تسقط عليه ثمان الثقل هو القوة الكلية التى يميل بها الجسم الساكن الى
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهم التى يميلان بها الى السقوط
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن مائة ثقل الاجسام وتقويمه بواسطة الآلات التى سيأتى بيانها بواسطة
تلك الآلات يعرف هل الجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام
والديكغرام هو ١٠ غرامات
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام
والمرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة
العظيمة كالمترو واللترو وغيرهما فان كلا منهما مركب
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مائلا لثقل الاشياء
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المتري هو ١٠٠ كيلوغرام
وما يعرف عند الملاحين بالتنو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد
الصياغة والكيميا والاجزائه وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات
ومائة سنتغرام ولف ملغرام
ولاجل تطبيق صبح الاتئال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام
ثقل دس متر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الا ذلك الى كثافتها العظيمة
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود
فوحدة النقود هي الفرنك وهو ينقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسما والى
مائة جزء تسمى سنتيما والى الف جزء تسمى ملزيما وكل خمسة فرنكات
تساوي ربالا فرنسا ويسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوي
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة
*(بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود) *

كأن النقود تسد مسد المقادير كذلك تسد مسد قياس القوى المستعملة
في اشغال الفنون

وقد قال المهندس دونتغولفيير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة
المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل
اي شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة ما من القوة واستعملها في نقل اي ثقل الى مسافة
تباع ميرا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله
زمنًا طويلا او كان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه
القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الا ان ثلثنا نقل بواسطة آلهة ما كالتقاله والعربة الصغيرة
والجسارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي
استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير نقل هذا الثقل مرة
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي
أن يصرف احدهما قوة تكون اكبر من القوة التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس دونتغولفيير يلزم أن تكون اجرة الرجلين
المتقدمين واحدة حيث انهما احدا عينا النتيجة المتقدمة وأدنا من القوة
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع
الحركات والانتقالات واشغال الفنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يتحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصل من ميكانيكا الفنون حلها
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الانتقال
التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها
وانما لم اتعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريف اياهما لا يتضح به
ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية قياسا
للمدة غير انه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولا يمكن
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى
مستور رأسي عند انصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسى هو المستوى
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءاً
وسموا بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية
والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلم الفلك
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف
لكون ايام السنة ليست مساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم
هذه الايام الفلكية تقسيماً ثانوياً الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالانتقال والاقيسة اختاروا لتقسيم
السنة طريقة مصر وايندا التي هي نزلة من نزل المصريين فقسموا السنة
الى اثني عشر شهراً والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة
خمس ايام على ٣٦٠ يوماً الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا
كذلك في كل اربع سنين يوماً سادساً مكملاً لايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة
فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقرّر في زيج غرغوار من التقويم المخالف
الغريب النائي من الاثنى عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو
٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج
المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم
السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون
العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للدعة والبطالة واشهر
المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا
ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة
وحينئذ فليس هناك ما يمنع تلك الطريقة الا موانع قليلة
ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة
الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثنى عشر شهرا المتساوية
وتم موانع كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى من مجموع الانتقال
والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال
الحسابات يلزم أن نبين خطأ المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار
الطريقة المذكورة بحض القوة والا كراه فتقول انهم كانوا دائما يخشون
أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل
كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع السهولة
ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها القرنك الطورى
القديم واما النقود الجديدة فرحدتها القرنك الجديد وقدمكثوا اكثر من خمس
عشرة سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب
فانهم لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت
وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطلوا عموم
استعمالها قبل أن يجددوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا
في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين الجأتهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المستترين فانهم يريدون ذن اعا من الجوخ مثلا لامترا ورطين من خبز لا كيلو غراما وزقامن حجر لا لترا فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة ولاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهلها الى مملكة فرنسا ومعمولا بها

وصار اهلها الى مدينتي باريس ونيوريس يستعملون الآن في قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة النقالين والتجار وامامه قدر اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياسا للموائع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مفرقة من اقيسة السعة وهي المكاييل يربح زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض صعوبات اخرى لا تتعلق لها بأراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها فنقول

فما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاختراع اكثر من نفعها واهي الصعوبات المذكورة وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالآلات الكبيرة والصغيرة ومواد النجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي عدها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتقال والحجوم حتى ان الحافظة وعت شيئا فشيئا الاعداد الدالة على الحجوم والاتقال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا يقتبس معارفه من اوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مقفودة بالكلية ولذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح فمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامي الفصيح مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عندنا بل اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن نتبع ما يبدو لنا فيها من التصورات المتعاقبة ولا تخيلها ونقابل بينها زمانا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاصلية مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه المحوطة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس وبالجملة فقد يوجد من ذلك عمليات تتعلق به قولنا وذلك اننا اذا استعملنا وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه على الاشياء التي تصور صورتها فاكتمل هذه المعرفة حينئذ من اعظم النقدمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

وما هو واقع الآن انك اذا الزمت من يعرف اي نوع من الاقيسة بتغيير آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اي كبقية الرجال الذين لم يخرجوا عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطع على طول القدم ظن انه يساوي طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحيدة ولا يعرف كيفية تطبيقه على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتقسيماته الثانوية الا اذا عرف من اقدام مثلا ما يبلغه البعد الذي يظن انه مناسب لشيء من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه اقدام من الامتار ولا يخفى ما في ذلك من المشقة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا
وقد اسلفنا آتفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل
جميع الاشياء على نسبة اولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢
قيراطا و $\frac{1}{4}$ او ١٢ قيراطا و $\frac{1}{2}$ او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من $\frac{1}{4}$ تقريبا وحيث ان هذا
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قدما محكما لانه اصح
جميع الاقيسة لكونه ابطها و ينتقل هذا القياس غالبا من المعلم الى المتعلم
وبتداول الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوائد
الجارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض
لقياسها قدما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم
الى ثلاثة آحاد زائد احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القدم وما شئت
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعة واربعين منه اى من القدم المذكور
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب
قياسها مثلاً لا يصح أن يكون القياس المفروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا
محمولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لى من العمليات المقتبسة من النظريات
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصفا او نحو ذلك لظن ان قواعد قوته
تغيرت بالكمية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة و اضاف اليها نفس تلك المقادير بالاقيسة القديمة وحيث ان هذه الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القراء نتج من ذلك ان المتولعين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب لا يميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادرالك الحافظة الاجمرد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة وبلهه هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الاقيسة الجديدة اصعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد هذا التخيل وكلا كانت المقادير مبينة باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التي تسكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى القديمة اعداد صعبة وربما كانت المقابلة التي يلجأ اليها القارئ بين هذه المقادير المتقاربة من بعضها معضدة لانفع الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يراوا في الغالب يقتدون بسلفهم من المؤلفين في كونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فنشأ عن ذلك انهم عوضا عن أن يتحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يتحصل معهم الا كسور وصلوها الى درجات تقريبية لاجدوى لها لكونهم تجاوزوا حد الصحة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات والخواصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذن تكون منافع اختيار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارها قليلة يمكن ازالتها في قليل من الزمن

وينبغي أن نشرح هذه التصورات شرحا موضحا فنقول اذا كان هنالك متبجرة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تتركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كلياً وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الأصلي منه كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل سائر المقادير وسائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانياً على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائع لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقيسة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجمله فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس ادنى تفاصيل تلك الفنون ويعانيها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق رونقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتحصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثله صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مخنثرة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقياً في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر اصناعتهم لهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة فكانوا بالضرورة هم الذين يخترعون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنبحث فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات وتحقيقها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليمسكوا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فجددوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدماً بطياً بالكلية فانه ظهر
مع المشقة بعد اربع سنين جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى
كتطويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة
لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك
بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالاخشاب الواردة لاتتاس
الا بالاقيسة الجديدة في مينات الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة
على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم
تتضمن مصاريق السفن والفراقيط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة
مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع القنون البحرية وهي التي
تكون محصولاتها عند المهندسين اصلا لاشغاله كالصواري والخيال والبكر
والسرعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في المينات القرنجية زمنا طويلا ثم قسموه
تقسما ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقيسة ذات
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة مثنى
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كليز مونت تونير
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندسخانة القرنجية حصل في ذلك تغيير
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل
الاقيسة القديمة في مينات فرانسا ولا ترساناتها ولا في القبائل وحكم
باطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى
على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البطيئة المحققة الناشئة
عن المدارس العظيمة التي يكتسب منها الشبان معارف متسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على تمر السنين حتى يكون فيهم استعداد للحكم بعدتهم
 دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم تقع لم يكن يعرف قبل ذلك
 ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية أقوى من تأثيرها
 في غيره وذلك ان الاصل الذي يتعلق به ماعداه من الاصول في فن الطوبجية
 هو نقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجناناتها وذخيرتها وعرباتها
 فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان ائصال الكلال المبنية باعداد
 صحيحة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة
 الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص
 فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلوغراما لان ذلك
 من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلوغراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا
 أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلوغراما لان ذلك من قبيل الخطأ
 ايضا فان ١١ كيلوغراما اصغر من ٢٤ رطلا فاذا سميت بمدافع
 عيارها ١١ او ١٢ كيلوغراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه
 فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب ائصال الكلة
 فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها اذ من المعلوم ان صناعة
 المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة ثقل الكلل فربما تجاوز
 هذا الثقل عدد الارطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المبين
 اعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات
 ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال
 ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغيير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية
 الفرجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة
 في الاقيسة القديمة التي كانت آلتها اذالك غير معروفة في المصالح
 لاتساع الاثقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لاتصنع معامل
 جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلوغرامات او ٦ او ٨ الخ
 عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في اسرع وقت كثرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعتماد بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقفية التي هي نتيجة هذا الابتداع فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي ضرورة نقل بعض المدافع غير انه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المأمونة الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتقلة وكذلك عند نقل مدافع المعامل الجديدة الى الحواصل والجحانات والحصون التي تكون قليلة الخطر ونقل المعايير القديمة البحرية دائماً الى السفن والمحافظة بالجديدة على السواحل ثم على جحوانات الميناءات العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للحرب تغير لا يعد غريباً الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير يمكن الآن قلنا نعم لاما نعلم من هذه الوسائط بعينها توصل على عمر الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغيير قطر آلة ثقب المدافع تغييراً لا تقا وما بقي يتغير بنفسه

وبالجملة فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء حصل تغيير او لم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنخ الانتقال وليست معايير المدافع التي قدرها ٤ ارجال او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة من القرايط كما انها لم تبين بالاستمرار وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة القديمة الثابتة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخول عن فائدة ولا شك ان هذه التقدمات هي نتيجة هذا المشروع النفيس وتداول الازمان والفوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية
 فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها
 بذلك دخل في بقيمة الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا
 ضروريا وهي مجموع الفنون الرياضية تقريرا وقد كانت مستعملة قبل ذلك
 في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون
 المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئا فشيئا ويتداول الايام
 نزول الموانع الاخرى
 ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة
 من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان
 ولنذكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

(الدرس الثاني)

في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحول الاولية وتطبيقها
 على الآلات

قد تقدم ما يقضى بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات
 القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم غفير
 من الناس حتى قالوا فيما بينهم لم يختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها
 الا الجهابذة الراسخون في العلم لم يكن لهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار
 الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة
 من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لمكافة الناس بل لامانع انه كلما سلك
 الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع
 الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ الغير الحلية
 اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيختلط عليه دائما هذه الالفاظ
 الكثيرة المنتهمة بكلمة واحدة نحو مليمتر و سنتيمتر و دسمتر ولكن من ذا الذي
 يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات
 التي ينبغى لها المبالاة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

واذا لم نبذل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة
 عند جميع الملل فهل ما عدنا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه
 هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التي لا يربحها الاقليل من ارباب
 العقول هذه الادلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تميز
 المقادير المبينة اولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك
 الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل بعث الناس
 على الاقتصار على انصاف الاسماء الوجيزة الدالة على الاقيسة فانك ترى
 بعض تجار الفرنج اجتنابا بالتحمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام
 مثلاً يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلكوا هذا المسلك
 في الكيلولتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه
 بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا مناهيد لالبس فيه بحيث
 لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفي حينئذ باطلاق اسم
 القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلطنا فيما اوقعنا فيه
 اقيسة سلفنا غالبا من الخيرة وعدم الوقوف على الحقيقة * مثال ذلك استعمالهم
 لفظة علوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع
 فانا لا ندري بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم * فهذا هو الغرض
 الذي نصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلفنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها
 في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس
 عشرة كلمة فصاعدا وليس اتناؤد المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى تفخر بانه
 من قبيل المعجز الذي لا يبارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان
 سببا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية
 وادخالها في العرف الخاص والعام فمن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترمومتر
 وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلاً

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديوراما
 وپانوراما وچيوراما وفتسماغوري ويعرفها بمدلولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبتها دون ستر ودستتر ونحوهما إلا أنها لا تدل إلا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فإنها تدل دائماً على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساها ورسوخها بمجترد الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا قد دررنا ما كنا واعتناؤه بما لا يجدي نفعا من أمور اللهو واللعب تتسكسل عن الالتفات إلى ما لا بد منه في حاجتنا الضرورية ولا حاجة إلى البحث عن أمماء مهملة اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرق فأن بعض من لا يعقل عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلما همل الكيمياء ويون من الفرنسية الألفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير ومن يدعى معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك أهل النجس وايطاليا والانكليز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتتنوع الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة ببعضها لكنهم شرعوا في مشروعات محدودة حيث اصلحوا وحرروا ما لا يحصى من الألفاظ الاصطلاحية ففي ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وما يجب التفقيه عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشهورين عن ساعد الجد والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما يشبههم عن ذلك وعليه فليزعم تجديد علم الأقيسة بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلامنا سابقا ولاحقا

وكان الكيمياءيين لما اعتنوا بنا جميع الحوادث ليبتدوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى استكشافات كثيرة جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوي على سائر أنواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حسابية لم يكن جرى فيها ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلية

*(بيان قوانين التحرك الاولى) *

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الاتي فنقول (اولا) اذا لم يعرض للجسم الساكن شئ يحركه فانه يستقر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب او جب فتحرك الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصلى من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاضاعها وصورها

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع فتحركه استمر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ارضنة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجمادى العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بجمال فعل ذلك اذا كان الجسم الجمادى متحركا فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد * والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذى يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذى يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذى يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين مربوطين في قطار واحد بجتر عربة مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متحصلة من قوتين اخريين يسميان بالركبتين اولانه يتحصل منها عين النتيجة المتحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لـكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كالمال كان مندفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهد ان العرب مجيبة عند الهبوط بالسريعة يحلون الفرس من أمام العربة ويربطونه خلفها ليجرّها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة فرس آخر يجرّها الى الامام ناقصة قوة الفرس الذي يجرّها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعنى المحركة قوة فرسين

(بيان التوازن)

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعنى بالسكون القهري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدّة قوى يضاها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جديدة تسوّغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عدد ما من القوى وحيث أنه يلزم لاجل
تحصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع
الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا
او مجذوبا بقوة واحدة مساوية لفاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة حل مجرورة بثمانية افراس في قطار واحد فتى كانت جميع
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربة تكون مجرورة بقوة فرس
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العريجي ثلاثة من هذه
الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجرها القهقري فان التحرك الكلي
يكون اولا عين ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة ثانيا يكون مساويا ايضا
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لفاضل الافراس الخمسة
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

ومما ينبغي حفظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهي اذا لزم قوة ما لتحرك جسم
بسرعة ما اعنى لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فنصف هذه القوة
لا ينقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة
وقتها لا ينقله الا الى ثلثها وربعها لا ينقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان
ضعف القوة ينقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال
هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعة امثالها تنقله الى اربعة امثالها
وهلم جرا

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعة الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة اصعب في التحرك من المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبها مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحركه واحد مناسبة للجسم دائما
وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانترسي (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانترسي المذكور في غاية الظهور عند مقابلة الجهود التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وحببات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد أن يحركوا بغير ابطاء واحد جملا ثقيل او قطعة من الرخام مثلا
ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يتحصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما ينقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزء آن المذكور ان منقولين في زمن واحد كلتي فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث ينقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هناك عشرين جملا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاجمال ببعضها مثنى وثقلت بقوى متصلة ببعضها مثنى ايضا فانه يحدث للنقل ١٠ طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال ببعضها ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اور باع اى اربعة اربعة وثقلت بالقوى المتصلة ببعضها ثلاث اور باع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) نقل الثقل الكلى المذكور في عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون اجمالها يحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو سبب كون النقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام في نظير النقل سواء كان الحمل يزن قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها في النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب في ان النقالين كانوا يدفعون للعربية اجرة واحدة على حسب تقويم الكيلوغرام سواء كان العربجية يستعملون في ذلك عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب للقوة الكلية للخيول المربوطة في العربة

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة معلومة يلزم تقويم هذا التصرف اولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا بموجب السرعة المعدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلوغرام واحد يقطع المسافة الماخوذة وحدة في ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١ واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة المسافة في ساعة واحدة فانها تؤدي كمية التحرك المبينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ
 واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع
 المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المبينة مرتين باعداد
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام
 وانما اكرت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا احاد التعريفات
 التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان
 ولنتكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق
 تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمال فيقول
 كل جسم ساكن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام
 وزمن قطعها
 فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضغفة ثباتي وثلاث ورباع تكون
 كالسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب
 تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطردا
 واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكما كان زمن قطعها كبيرا كانت
 السرعة صغيرة وحينئذ تكون نسبتها من عكسة انعكاسا كلياً بمعنى انه اذا كان
 الزمن مضغفاً ثباتي وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث
 او الربع وهكذا
 واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة للزمن تناسباً
 مطردا بمعنى انها تزيد وتنقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا في السرعة
واذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم
تكون باقول دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد
ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات
والمقاومات فتتبع دوام تحرك تلك الاجسام
فاذا تحرك الجسم تحركا ما نجد ان هذا التحرك ينقص بالتدريج ويؤول
امره الى الانعدام
مثلا اذا لعب اناس بالكرة فلولا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت
هذه الكرة بمجرد طرحها على مستواقي تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها
لكن لا يخفى ان هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت
في الصقالة ما بلغت وتنعدم في اسرع وقت
وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفنون أن يضاف في كل وقت
الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة
مثلا اذا كان المطلوب نقل اجمال في الطرق فلا يكفي في ذلك أن تحرك
هذه الاجسام مطلقا تحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت
وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس او الحيوانات المعدة لحركة تلك الاجمال
وتكون كمية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة للقوة
المعدومة في الوقت المذكور وينبغي أن نعتبر أن مجموع ازيد القوى المستعملة
في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات
فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة فمننا معلوما فمجموع القوى
المستعملة في هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة
ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر
فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيله
في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسبا مطردا
ولننبه حينئذ على الفاضل الغائي الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع مما من الاحتكاك والحاصل من جهة أخرى
بين التحويلات الحادثة مناعلى الأرض فنقول اذا اردنا معرفة مسافة سير
الكواكب السيارة او ذوات الذنب او اى جرم في السماء وكان هذا التحرك لحاصل
بنفسه فانه يكنى اخذ زنه هذه الكواكب السيارة او ذوات الذنب او الجرم
المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة
واحدة في اى مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار
النقل المذكور الا انه في الأرض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الاول
على الأرض مجموع آخر يدل على القوى المعدومة في كل وقت فاذا اخذ
هذا المجموع الاخير في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الاول حتى يمكن
اهماله وحينئذ يقال كما يقول متعهدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة
للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه الملاحظات خاصة
بالنقل بل تعمه هو واغلب ما يعرض للآلات من التحويلات الناشئة عن القوى
المتنوعة وسياقنا لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب
عند الكلام على استعمال القوى المحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة
واحدة لجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها في خلال الزمنة
المساوية

ولنرمز بحرف h الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف v الى سرعة
هذا الجسم وبحرف t الى الزمن المعدل لقطع مسافة h بسرعة v
وفي مبدء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها سرعة الجسم
مثنى فيقطع في مسافة زمن t الثاني مسافة تساوى $2h$
وفي مبدء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا
سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن t الثالث مسافة تساوى $3h$
وهلم جرا

فان يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الاول زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط المبني
 سرعة مكسبة ق سرعة مكسبة ٢ ق سرعة مكسبة ٣ ق سرعة مكسبة ٤ ق سرعة مكسبة م ق
 مسافة مقطوعة هـ مسافة مقطوعة ٢ هـ مسافة مقطوعة ٣ هـ مسافة مقطوعة ٤ هـ مسافة مقطوعة م هـ
 فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط
 تساوي بالبداية

هـ + ٢ هـ + ٣ هـ + ٤ هـ + ٠٠٠ + م هـ
 ولما منع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الخواص
 المنسوبة للقوى فنقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأسي مقسوما الى مسافات
 متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وض
 الاثني مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة
 هـ المقطوعة مدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمات
 افقية ورأسية حدث عن ذلك سلام طول كل واحدة منها مسافات هـ
 و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية
 المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

وا × هـ ، و اب × ٢ هـ ، و بث × ٣ هـ ، و ثد × ٤ هـ الخ
 لكن حيث كان وا = اب = بث = ثد فاذا فرضنا
 عرض جميع الدرج مساويا للوحدة يكون سطح الدرج
 بالاختصار

هـ و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ

و سطح السلام الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم
 ولنفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

وبحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك الجديد الانصف العرض وتصير ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات او اربعا وخمسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الا مرة واحدة وحينئذ تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اربعة او خمسة الخ ولا يكون ازدياد طولها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة او خمسة الخ

فاذا مددنا مستقيم $\overline{وز}$ من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١ ١ ٢ ب ٣ ج ٤ د الخ التي تحدد اسفل درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\overline{ط} \text{ و } \overline{٢ ط} \text{ و } \overline{٣ ط} \text{ و } \overline{٤ ط} \text{ الخ}$$

$$\overline{١١} \text{ و } \overline{٢ ب} \text{ و } \overline{٣ ج} \text{ و } \overline{٤ د} \text{ الخ}$$

ثم ان نسبة اضلاع $\overline{وا}$ اذن لا تتغير متى اخذنا نصف ضلع $\overline{وا} = \overline{ط}$ ونصف ضلع $\overline{ا ه} = \overline{ه}$ وثلث $\overline{وا}$ وثلث $\overline{ا ه}$ وربع $\overline{وا}$ وربع $\overline{ا ه}$ لاجل عمل سلام (شكل ٢) (شكل ٣)

الدالين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه $\overline{وا}$ و $\overline{ب ج}$ و $\overline{د الخ}$ متى فرض انتقاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم

فاذا تكاثرت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقتضى الحال انقسام $\overline{وا} = \overline{ط}$ و $\overline{ا ه} = \overline{ه}$ الى اجزاء متساوية دقيقة جدا فان وجهة سلام ١ ١ و ٢ ب و ٣ ج و ٤ د الخ

(شكل ١) تكون مستقيما واحدا كـ مستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)
 وحيث كان سطح سلام و ١ ١ ٢ ب الخ ز س دالا على المسافة
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون في هذه الحالة
 سطح المثلث وس ز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجموع هنا وحدة)
 فان اطوال درجات ١ ١ و ب ب و ث ج تكون دالة
 على السرعة المتعددة المكنسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ١ ط
و ٢ ط و ٣ ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان
 القوّة المحوالة الى $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{5}$ الخ
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوّة الاصلية
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها اليها
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)
 و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكنسبة متى دل وس على الازمنة
 الماضية و سطح السلام الذي يكون حينئذ سطح مثلث وس ز يدل على
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكنسبة مبيّنة بطول
س ز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مبيّنة بـ سطح وس ز وذلك
 عقب الزمن المرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الزمنين المبينين بخطي وس
 و وس (شكل ٥) ورمزنا بحرفي ق و ق الى سرعتين
 المبينتين بخطي س ز و س ز ثم بحرفي ه و ه الى المسافتين
 المبينتين بـ سطح مثلثي وس ز و وس ز فانه يحدث عن ذلك

$$\begin{array}{l} \text{وس} : \text{وس} :: \text{س ز} : \text{س ز} \\ \text{او ط} : \text{ط} :: \text{ق} : \text{ق} \end{array}$$

وحينئذ تكون في التحرك المعتبر عندنا سرعتا $ق$ و $ق$ المكتسبتان

عقب زمني $ط$ و $ط$ مناسبتين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $وسه$: $وسه$
 او $ه$: $ه$:: $ط$: $ط$

فاذن تكون المسافات مناسبة لربعات الازمنة المعتبرة لقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ الخ

فان المسافات المقطوعة تكون $اه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ الخ

وحيث كان في مثلثي $وسز$ و $وسز$ المتشابهين

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $سز$: $سز$
 او $ه$: $ه$:: $ق$: $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازمئة معلومة تكون حينئذ مناسبة لربعات السرعة

المتعددة المكنسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازمئة $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ و $ط$ الخ

تكون السرعة المكتسبة $ق$ و $ق$ و $ق$ و $ق$ و $ق$ و $ق$ الخ

والمسافات المقطوعة $اه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ و $هه$ الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن $ط$ المين بخط $وس$ (شكل ٥)

بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة $ق$ الثابتة

المبينة بخط $سز$ وحينئذ تكون الخطوط الاقمية المتساوية وهي $سز$

$= سز = سز$ دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث $وسز$ يدل على المسافة الكمية المقطوعة مدّة زمن $ط$

بعدة قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل $سز زس$ الذي هو ضعف مثلث $وسز$ يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مرموز له بحرف ط بسرعة
ثابتة مكنسبة عقب زمن ط الاول
وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة
بين ازمنة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة
زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط
لولا تجدد القوة المذكورة دفعاتها

*(بيان التناقل) *

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة
الدافعة الثابتة وهي ان لجميع الاجسام انجذابا وميلا الى مركز الارض فتكون
القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب نقله وتكون قوة
التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تجدد ثانيا وقتا بعد آخر
بتأثير مستمر واحد

وعليه فجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تجدد دفعاتها كل وقت
توافق ايضا قوة التناقل

وحينئذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات
(اقولا) ان السرعة المتكررة المكتسبة تكون مناسبة للارزمنة المعدة
لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة
لمربعات الارزمنة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة
المتكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي
اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها
وذلك مع ازدياد سرعته بالتدرج

وفي اي مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية ٩٠٤٣٩٧٥ ر ٤ م فلا مانع حينئذ من ان سرعته
المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الانتظام

بمعنى انها تكون مساوية ٨٠٨٧٩٥ ر ٩ م في الثانية الواحدة
وفي عقب ١٠ ثوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون
معارض مساوية ١٠٠ مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة
اي انها تساوي ٤٣٩٧٥ ر ٤٩٠ م وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة

١٧٦٥٥ ر ٨٣١ م

ولا بد للاجسام الساقطة من شئ عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك
لمقاومة الهواء لها (كإسقاط في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

(تطبيق)

إذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدًا واستعملت اجسام كبيرة جدًا
فانه يمكن بواسطة الآلة الحسائية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق
البئر وارتفاع الحائط والقبعة ونحو ذلك قياسات تقريبيا مستعملا فاذا خلى
الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثواني وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور
هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في ٩٠٤ ر ٤ م الخ ويكون حاصل
ذلك هو المسافة المقطوعة

ولننبه على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة
او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة
قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من الهندولات مثال شهير في شأن
الارتباط الحاصل بين العلمين المذكورين الذين جمعت قواعدهما وتماثلتهما
لتنضج بها سبل الصناعة وتسهل من اولتها

فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدي الالهوان وآلات الدق وضرب

النقود والمطارق ونحو ذلك اتضح لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق قوانين سقوط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا وان معرفة هذه القوانين مما لا بد منه

ولنفرض انه حين شروع التناقل في اندفاعاته المتكررة كل وقت يكتسب الجسم سرعة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور

وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير مع العجلة في كل وقت اسم القوة المعجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة التناقل فان هذا التناقل ينقص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة

البطيئة

مثلا اذا اطلقنا طنجبة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المعجلة

واذا اطلقنا طنجبة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يتعطل في كل وقت بما يحدث عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد فتثبت هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة معجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزداد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة
وتكون منحوبة دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيك كفايدة وسياتي لك
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضي منذ اطلاقها
ونقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسبة لمربع هذا الزمن
والسرعة المكتسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضي منذ شروعها
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة التناقل مناسبة
لمربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التي لا تؤثر في الجسم الامتزة واحدة
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة
وتطلق القوى النشاطية على القوى المجحلة اوالمعطلة التي يكون قياسها معلوما
من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واى وضع وجد فيه الجسم مدفوعا بى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط
اكتسب سرعة $\sqrt{2}$ المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان م رمزاً
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى $\sqrt{2} \times \sqrt{2}$ وهذه
الكمية هي مقدار القوة النشاطية من م

فاذا وقعنا جسماً ليكتسب قوة $\sqrt{2}$ كن استعمالها فيما بعد في اشغال الصناعة
فانه يستدل على كمية القوى التي يجمعها بضرب مجسمه في سرعته المكتسبة
وذلك في عقب

$$1, 2, 3, 4 \dots \text{الخ من الثواني}$$

$$1, 4, 9, 16 \dots \text{الخ م} \times 808790, 9$$

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين ادت للجسم الهابط لقوة النشاطية

المتزايدة واذا اخذتها من اليمين الى الشمال اذت للجسم الصاعد القوة النشاطية
المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى
المذكورة صاعدة اوهابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكنسبة من ابتداء
نقطة **آ** الى نقطة **ب** او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة
المذكورة فانه يرتفع من **ب** الى **آ** قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة
جميع ما تحصل منها في مبداء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط
ليصعد بها اعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد
لتزداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبداء سيره
وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك اذا تظن اليها العقل حادها عن الوقوع
في الاختلاطات والتراكيب الفاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة
بالتحرك الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تاثير الهواء كان هذا التأثير قوة
دافعة له تتجدد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور
لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء
دفعه غير قويه وعليه في هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك
لا تكون القوانين المحكمة المنظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات
المقطوعة اسهل من القوانين التي ذكرناها وينطبقها على التناقل

(وسياق ان قوة التناقل لا تكون ثابتة على ابعاد متنوعة من مركز الارض)
واذا فرضنا ان جسما يتحرك في الهواء الساكن او في اتجاه مضاد لاتجاه الهواء
فانه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون
الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة الثابتة فقط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة
المتزايدة

وسياً في لهذه الملاحظات التي ذكرناها هذا على وجه اجمالي مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولنذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وإنما يرسم منحنيًا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولانذكرها هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحرك الاجسام سرعة او بطأ واما الصناعة فيستعمل فيها جلة عظيمة من القوى الاخرى بل انها تبطل مقاومة ماشا بهما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولترجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك سفينة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تطلقها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم أن تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم والمتسق الا اذا كان ما ينعدم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض تجدد تأثيرها في كل وقت تساويا مضبوطا

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الالات يكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تجدد في كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

ففي اخذت آلة في التحرك فانهما تظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما ينعدم فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة منبه على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبدء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدريج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه المحفوظة لجرد الرغبة فيما بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبدء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعدم بها أولا انرسى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقتية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انرسى اجزائها وبذلك يخشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تنكسرت وتلف تضعف صلاحيتها وسنذكر فى الكلام على تحرك الطارات المضرسية مثالا شهيرا تعلم به اهمية ما ذكر

(الدرس الثالث)

(فى بيان القوى المتوازية)

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا ان يندوينه على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيتين فانه يحصل عن ذلك تأثير كذا نير القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربتين فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجانب بعضها وجارة بالتوازي

وهلم جراً

فأذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتجهة إلى جهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجتر في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فإذا كان هناك قوى متوازية تجذب إلى امام وأخرى مثلها تجذب إلى خلف وحولت الأولى إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها والآخرى إلى قوة واحدة مساوية لمجموعها أيضاً فإن القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لفاضل المجموعين ومتجهة جهة أكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية أولى من إقامة براهين غير جلية لا تقنع أرباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلاً كما يقول بعض مؤلفي الأصول الأولية أنه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كلتاهما تقاطعتين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود أيضاً وأثرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الأشياء غامضة قليلة الوضوح وما يسهل مشاهدته أن لمحصلة القوى المتوازية اتجاهها واحد مع القوى المتراكبة منها وانها تساوي مجموع ما كان منها يجذب إلى امام ناقصا مجموع ما كان منها يجذب إلى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفته متوقعة على مراجعة الهندسة

وذلك أن الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة أو المعدلة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة أصولاً ميكانيكية يظن أنه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الالتفات إلى هذا الغرض المهم

وبالجملة فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط إلا أن الزمن ينقسم إلى أجزاء متساوية كالساعات مثلاً وتنقسم الساعات أيضاً إلى أجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم أو المنحني ينقسم أيضاً إلى أجزاء متساوية منمرة بأرقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت

معين وينقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيماً ثانوياً بقدر ما في الدقيقة من الثواني فان التقسيمات الجديدة من ذلك تدل على الثواني وهلم جرا

فاذا اوضعت الخبرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنك أن تستدل على الزمن أولاً بالاعداد وثانياً بالطوال الخطوط فاذا جمعت اجزاء الخط او طرحتها اوضرت بها اوقستها كما تفعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالاً على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني عشر جزءاً متساوية تدل على الساعات ومنقسمة ايضا تقسيماً ثانوياً الى ستين جزءاً متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعاً حركتهما ولزم ايضا ان العقرب المعدل للدقائق يكون اسرع في السير من العقرب المعدل للساعات باثني عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مدة الزمن مبينة ايضا باصول هندسية وهي الزوايا وذلك بان نخدم من مركز المزاولة مستقيماً موازياً لمحور الارض ونفرض مستويين يمر بكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دوراناً منتظماً * والزوايا التي تقاس تحركه تكون ايضا قياساً للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحينئذ تكون ارتفاعات وا و اب و بث المبينة في (شكل ١ من الدرس الثاني) دالة على الازمنة الماضية * وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة يستدل عليه بمسقطات اا و بب و ثج الخ المتوازية

وحينئذ فيستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم وبما اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضا كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الآن فصاعدا الا بالاعداد
واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة
معلومة

فيمكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة ايجابها
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بها يظهر لك من قول وهله اعظم فوائد علم
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المذولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء
تكون مشاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن

وكذلك لا يمكن رؤية نقل الجو ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤية تقاسيم المستقيم
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات نقل
الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الة
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كناية
عن بارومتر بخاري أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية
وسياتي لك ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة * واتجاه هذه
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة الميينة
بما تقدم * وطول الخط يدل على مقدار القوة ولترجع الى ما نحن بصدده وهو
القوى المتوازية فنقول

معي كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي اس و بص (شكل ١)
جاذبتين لمستقيم اب العمودي عليهما كان قضيب شر مربوط

بمنتصف أب والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاه محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست أكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى اليمين من الشمال اولا الى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات أس و بق و شز (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع في بق وهلم جرا وهاتان الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا اذا جرّ فرس واحد عربة بواسطة مجريين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربّة وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى اليمين والشمال وعليه فينبغي أن تسير العربّة الى الامام في اتجاه مواز للمجريين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجزّ الا بواسطة حبل او جرّار ثابت في منتصف العربّة

واذا كان هنالك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهي غ (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجرّات ط و ط و ط و ط الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله وبيان ذلك أولا ان محصلة مجرى ط و ط مساوية ط + ط و واقعة على ه في منتصف كتف العربّة وهو ا وثانيا ان محصلة مجرى ط و ط مساوية ط + ط و واقعة على ف في منتصف الكتف الثاني للعربّة وهو د وثالثا ان لقوتى ه و ف محصلة وهي غ مساوية لجموعهما وهو ط + ط + ط + ط وموضوعة على بعد واحد من ه و ف

فعلى ذلك يكون مستقيم غ المارّ بمنتصف العربّة دالا في الاتجاه على المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هنالك قوتين متوازيتين وهما أس و ص غير متساويتين وجاذبتين لقضيب ا (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن $\overline{س ا ث}$ $\overline{ص ر ث}$ (شكل ٥) منشوران
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السمك والطول بحيث اذا انطبق احد
 طرفيهما على الآخر كانا شاذين لطول $\overline{ا س}$ مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما
 فاذا تقرّر هذا التوضيح لك أن $\overline{ث ا س} = \overline{س و ث}$ $\overline{ص ر ث}$
 $= \overline{ص}$ لا يتغيران اذا علق $\overline{ث ا س}$ و $\overline{ص ر ث}$ من منتصفيهما
 تعليقا افقيا فينتد يوجد بين $\overline{ا و}$ اقلا نصف طول الثقل الصغير
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين
 مساويا لبعده $\overline{ا ر}$ فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين
 على وجه بحيث لا يتكوّن منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر
 متلاصقان فذلك لا يغير لوازنيهما لكن $\overline{ث ا س}$ $\overline{ص ر ث}$ المتكّون منهما المتحد
 السمك في كل من طرفيه يكونان بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة
 واحدة وليكن $\overline{ث}$ رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتَي $\overline{س و ث}$ و $\overline{ص}$
 وهي $\overline{ر}$ مارة بنقطة $\overline{ث}$ المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي $\overline{ا ث}$ بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت نقطة
 $\overline{ث}$ موضوعة على $\overline{ث}$ حدث بالبداهة هذا التساوي وهو

$$\overline{ر ث} = \overline{ا ث} = \overline{ص ر ث}$$

$$\overline{ا ث} = \overline{ر ث} = \overline{ا س}$$

وعلى ذلك تكون نقطة $\overline{ث}$ واقعة على نقطة $\overline{ث}$ في منتصف $\overline{ا ر}$

فاذن ينبغي الوضع في $\overline{ث}$ على ابعاد متساوية من $\overline{ا س}$ و $\overline{ص ر ث}$
 المناسبين لقوتَي $\overline{ص ر ث}$ و $\overline{ا س}$ لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة

ولمذكرهنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجزء العربات بالخيول فنقول
 يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس

وهي $\overline{س و ص و ز}$ (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان
 الفرسين المرموز اليهما بـ $\overline{ص و ز}$ يكونان مربوطين بكثف العربات
 وهو $\overline{ا ر}$ وتكون محصلتهما وهي $\overline{ث ر}$ مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف $\overline{ا}$ وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة الفرس الثالث وعليه فتوضع نقطة $هـ$ مرتين قريبا من $\overline{شر}$ و $\overline{دس}$ وهي نقطة وقوع قوتي $\overline{شر}$ و $\overline{دس}$ وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة لوقوع المحصلة الناتجة منهما وهي $خ$ وقد يكون $هـ$ $خ$ متجهما على محور العربة الطولي

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$ تفوق على قوة $\overline{ص}$ قليلا قليلا حيث أن $\overline{س}$ تنقص كثيرا كثيرا فإذا فرض في مساواة $\overline{ر} \times \overline{ث} = \overline{س} \times \overline{ا}$ أن $\overline{ر}$ و $\overline{ث}$ لا يتغيران فلا خفا أنه كلما نقص $\overline{س}$ ازداد $\overline{ا}$ وإذا كانت قوة $\overline{س}$ محولة بالتوالي الى نصف طولها الاصلى أو ثلثه أو ربعه أو غير ذلك لزم أن يكون بعد $\overline{ا}$ مضعفا مثنى وثلاث ورباع وهكذا الاجل حفظ حاصل $\overline{س} \times \overline{ا}$ وإذا بلغ $\overline{ا}$ في الكبر ما بلغ فانه يوجد دائما مقدار صغير لقوة $\overline{س}$ التي لا مانع من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$ على $\overline{ص}$ بكمية يسيرة وهي $\overline{س}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي انه لا يمكن توازن قوتين كقوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ر}$ مع قوة ثالثة كقوة $\overline{س}$ متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين الى جهتين متضادتين وإذا بلغت قوة $\overline{س}$ في الصغر والتباعد ما بلغت فانها لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لان تسير الجسم الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بدلا عن التأثير الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتي الكلام على ما يكون للجسم من قوانين التحرك الجديد في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحركات الحادثة على مستقيم واحد

ولنرجع الى تاثير القوى المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

مق كان هنالك قوتان كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ واقعتان عموديا على قضيب $\overline{أب}$ (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرطانه لا يتغير توازيهما في $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كانت محصلتهما هي $\overline{ر}$ المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة $\overline{ث}$ وحينئذ لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين نقطتي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهى خاصية التحرك التي هى بحسب الظاهر في غاية السهولة لها نتائج عظيمة وثمرات جسيمة في علم الميكانيكا والصناعة ولندكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ واقعة على ثلاث نقط ليست على مستقيم واحد (شكل ٨) وان $\overline{أس}$ و $\overline{بص}$ و $\overline{ثز}$ دالة على اتجاهات تلك القوى كان لقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ في مبدء الامر محصلة $\overline{ر}$ الواقعة على نقطة $\overline{د}$ والمساوية $\overline{س} + \overline{ص}$ والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\overline{دأ} : \overline{دب} :: \overline{ص} : \overline{س}$$

ثم يكون لقوتى $\overline{ر}$ و $\overline{ز}$ محصلة $\overline{ض}$ $\overline{ر} = \overline{ز} + \overline{س} = \overline{س}$ $\overline{ص} + \overline{ز}$ فتكون نقطة الوقوع هي $\overline{ه}$ لمصلحة $\overline{ض}$ موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\overline{ده} : \overline{هث} :: \overline{ز} : \overline{ر}$$

فاذا تقرّر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع نقطتي $\overline{د}$ و $\overline{ه}$ غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك فتى تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ على اى وجه كان بحيث لا يتغير توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة $\overline{ه}$

فاذا كانت القوى اربعا او خمسا اوستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاه جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازنها هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كمجموع عدّة اجزاء صغيرة مادية مندفعه جهة الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريرا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء كالة قوى في التوازي بدون خطأ بين

فاذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقتضى الحال البحث في كل وضع عن نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فاننا نجد دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة يتحقق من خاصية الاجسام عند تعليقها بخيط في اتجاهات مختلفة وتوازنها فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي مركز الثقل

وخاصية مركز الثقل بالنظر الى الفنون فوائد عظيمة في تحرك الاجسام ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التي يحتمل عليها هذا العنصر وفي التحرك المستقيم الذي كذا منافيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولا لجسمه وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلا جسما طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لمثلث رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءا من ستة من مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التثاقل زاوية مساوية لجزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة

ولجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاجهاها المشترك ومساوية

لجميعها ومارة بمركزها وهي هنا مركز ثقل الجسم
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(اولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم
هذا العنصر ومتجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم
ومرة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بعدة قوى متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن
التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارة بمركز
ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم ان تكون محصلة
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي
واحد ومتى اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن نتوهم مستقيما رأسيا مارة
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسيأتى لك
في الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويراتى تعلق فى البيوت وتكون
على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل الخفافات المعلقة فى قباب
الكهائن وسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاغتراف الماء والنزول
فى المعان

وبالجملة فمعرفة وضع مركز الثقل عملا بالادلة للصناعة سواء وضعوا اجساما

ساكنة في وضع معلوم او يديرها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز
يتغير وضعه متى حرك الانسان اعضاؤه او جعل شيئا ما وذلك لان
الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد متمز به محصلة ثقله و ثقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثامة (شكل ٩)
(وشكل ١٠) امكن أن نعتبر اخصيه كذبة طي وقوع القوى المتوازية
المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها
هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة
معلومة كقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة \overline{NG} التي هي مركز
ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة
التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز
الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسية بأن يميل ببعض اعضائه الى الجهة المقابلة
لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يعتبر كأنه يتغير في كل وقت تقريبا
بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان اوحظه

ومن المهم في الفنون المستطرفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع
المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغي للمصورين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية
حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اى في وضع لا يمكن للانسان
أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شأن أن هذا العيب كاف
في الاخلال بجودة الصناعة وضياع انتظام الفنون المستطرفة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره
(شكل ١١) حملا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالف القوانين الميكانيكا ولحقيقة الرصد (وقدر مرنا في جميع ما يأتي من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى مركز ثقل الحامل والمحمول معا)

وبالجملة فالتوازن يقتضى ان نقطة غ التي هي مركز الحامل والمحمول الاعتبارين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن اخص الانسان لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتمدا وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع هو ومحموله الى جهة الخلف

وللعقال معرفة تامة بهذه الفائدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢)

ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسى لائق فاذا كان الحمل باقيا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلا الى الخلف وكان العتال مجبورا على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحا من جهة وعريضا من اخرى فان العتال يستند بالجهة المسطحة على ظهره وينقل حينئذ مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازنا مع الحمل

ومن الانقال التي لا تعد خفيفة جو بنديّة العسكرية التي يحملها على ظهره وقد كانت الجربنديّات القديمة المحدثّة بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلا الى الخلف بالكلية فبذلك كان الرجل مجبورا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلا الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن امر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادرکوا فائدتها

ومنعوا للعساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز ثقلها يميل الى الخلف قليلا اذا حملها العساكر على ظهره من جهتها العريضة وهذا التخفيف الضروري معدود من العمليات السهلة المتعلقة بقضية مركز الثقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجربنديات بقرنين يحملون على ظهورهم مع المشقة جربنديات ردئة الشكل وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاد يجبر الحامل على الميل الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه ما لم يقصد وضعه لانهن الإقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد جمالها المربوطة بالاربطة معلقة امامها تعليقا انقيا و تراها عند الوقوف على غاية من الاعتدال الآن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف ولما كانت في الغالب تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية في الناس لقصد حيازة الهيبة والوقار الا ان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلبي (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة بكاتعة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو جرت العادة بانها حال المشي تستند يديها على فخذيها حتى تكون ذراعاها مائلتين الى خلف لمكانت في الغالب تمشي مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلظ (شكل ١٧) فانهم مجبورون على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذي عليه السماكة والحبلبي واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الارجل كثيرا نحو تلك الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجرى وانهن يمددن

في تلك الحالة اذرعهم الى خلف لانهم عند الجري يملن باعلى جسمهم الى الامام بالسكية وذلك يستلزم استعمال الاذرع المتقدمة لاجل التوازن فاذا كان السقاء الافرنجي يحمل باحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠) فان مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا الى جهة الخلف ولا الى جهة الامام كما في الصور المتقدمة وانما يكون مائلا الى جهة غيرهما وحينئذ يلزمه أن يميل الى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا القبيل ايضا الموضع التي تحمل الطفل على احدى ذراعيها (شكل ١٩) ومثل هذه المشاق الخالية عن الحدود ينبغي اجتنابها واستبدالها بكيفية اخرى بأن يجعل الانسان ما يحمله على جزئين متقابلين من جسم بالسوية فيحمل السقاء مثلا دولين (شكل ٢٢) والمريض طفلين متساويين في الثقل (شكل ٢١)

وتم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة اثقالا جسيمة (شكل ٢٣) بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فاذا نحتاج المرأة الحاملة الى الميل من اى جهة كانت لاجل حفظ توازن وضعها الطبيعى

واقول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد أن كانت اشغالهم لا طائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة او جهتان متساويتان وهو مثقوب من وسطه ليدخل به الباطى رأسه (شكل ٢٤) فاذا جى الخراج وضعوه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحينئذ فيمكن في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فاذا فرضنا ان انسانا وقف على رجله مع الاعتدال ثم رفع احدهما على حين غفلة وصار واقفا على رجل واحدة فان بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لاجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على
المستقيم الرأسى المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدون اشعار الى جهتي اليمين والشمال
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليميني او اليسرى (شكل ٢٥)
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا
فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان
واما في صورة العكس وهى ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب
الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع تماس اذرعتهم بعضها البعض منفعة عظيمة
وهى جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معاقدا متقدم لانه بدون ذلك
لا يمكن استمرار اذرعتهم على المماسية حيث انه اذا مال انسان منهم بجسمه
الى الجهة اليميني مال الاخر بجسمه الى اليسرى فيختل صفهم وتتفرق جميعتهم
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بدرجة واحدة وهى اليسرى حسبما هو
متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعملياتها ما هو أكثر تنوعاً من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلم الرقص الرموزي أو غيره من أنواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث أننا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتجربن على النط والثوب حتى أن نتكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

إذا فرض أن الراقص أو الهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلاً وجب عليه في الحال أن يميل جزءاً من جسمه إلى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفاظاً للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تتحركت الكتلة الجسم تكون صغيرة مهماً أمكن ليكون ما يبدل في ذلك من الجهد قليلاً غير ظاهر مع السهولة وانخفة لزم أن يمد الراقص أو الهلوان ذراعه الأيسر إلى الجهة اليسرى فإذا كانت الرجل اليمنى متأخرة إلى الخلف لزم أن يكون الذراع الأيسر متقدماً إلى أمام فيكون على صورة مركور (أي عطارد) الطيار اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رئوسية أيضاً (أي الشجرة)

وأما مقابله تتحركت الأذرع تتحركت الأرجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه لنظامي الحبال الذين يتطوون بلاميزان معهم فيكون التحرك حينئذ محسوساً مشاهداً والغرض الأصلي من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معاً على رأسى ماراً بالحبل

وكثيراً ما عاينت أناساً يمشون مع العجلة ويبرزون أذرعهم بكثرة ويطرحونها إلى أي جهة من الجهات عوضاً عن كونهم يطرحونها إلى الخلف أو إلى الأمام كما هي عادة معظم الناس * وبموجب الملاحظات المتكررة في شأن الطريقة التي يكون فيها مركز الثقل مائلاً في كل خطوة إلى جهة الرجل الثابتة على الأرض يرى أن الأذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعي إلى جهة الرجل المرتفعة لأجل تحويل مركز الثقل إلى اتجاه السير فهو لاء الناس الذين يراعون هذه الملاحظات يكونون في مشيهم أكثر استقامة واعتدالاً من الأول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش
فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف
لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مارداً بالرجل
المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيرا باعلا جسمه
الى خلف ويمد يده اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق
الايمن المتقدمين الى أمام وبالجملة فادنى ضربة من الشيش المعتد للتعليم تقلب
الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جدا الى خلف وفي صورة العكس وهي
ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال
بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر يبطئ هذا التحرك
وسياتى في الدرس الذى تكلمنا فيه على تحرك الدوران ان مراكز الثقل لها
تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيرا مهما في التحرك المستقيم

(الدرس الرابع)

(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كمية القوى)

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفى دليلا على ان من اهم
الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل
من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة
والاجزاء المتحركة من سائر الآلات
فاذا وسقت عربة ذات عجلتين فلا بد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعا أمام المحور
ولا خلقه لانه في الصورة الاولى ان لم تنلف الفرس من الحمل يلحقها مشقة عظيمة
بدون أن ينقص شئ من الجهد والتعب اللازم لجر العربة وفي الصورة الثانية
يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المتقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتترزل
ارتفع الفرس وصار بعيدا عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة
خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحدارا يينا
ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب
وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شئ احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والشبات كما سيأتى (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المحركة)

فاذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مرئيتين بطرف قضيب غير لين وفرضنا انه لا تماثل له فان مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل مستقيم ثقيل كمستقيم $\overline{أب}$ (شكل ١) المبين بسلك معدنى متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لانه اذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون احدى جهتيه ارجح من الاخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلها حولها هي مركز ثقل المستقيم المذكور

فلاخفاء انه اذا وضع منتصف قضيب افقي متحد السمك في جميع طوله على طرف اصبع او على طرف شئ ما فانه يكون متوازنا وكذلك اذا علق من منتصفه وسيأتى عند الكلام على الرافعة ان توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

وانفرض الآن ان المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي $\overline{أب}$ و $\overline{شد}$ (شكل ٢) المنتظمي التماثل في جميع طولهما بحيث تكون اطولهما دالة على ثقلهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم $\overline{أب}$ محصور في منتصفه وهو نقطة $\overline{هـ}$ وثقل $\overline{شد}$ محصور ايضا في منتصفه وهو نقطة $\overline{ف}$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان احدهما واقعة على $\overline{هـ}$ والاخرى على $\overline{ف}$ وكلاهما يدل عليه $\overline{أب}$ و $\overline{شد}$ فتكون محصلتهما مدلولاً عليهما بمجموع $\overline{أب} + \overline{شد}$ وتكون نقطة وقوعها وهي $\overline{ش}$ على مستقيم $\overline{هـ ف}$ مبنية بهذا التناسب وهو

$$\overline{أب} : \overline{شد} :: \overline{ش ف} : \overline{ش هـ}$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

اب + شد : اب :: ش ف + ش ه او ف : ش ف
ويأتي من ذلك ان

$$\frac{\text{اب} \times \text{فه}}{\text{ان} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها انما معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيمت الثقبيلة وذلك بأخذ هاتني فاذا كان المطلوب مثلاً تحصيل مركز ثقل مستقيمت متألفا منها كثير اضلاع مستقيم مثل اب شد (شكل ٣) فانك

تأخذ نقط تصريف اضلاع اب و بث و شد الخ وهي ا و ر و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم ا ر نقطة س وهي مركز ثقل مستقيمي اب و بث واذا مددت مستقيمي س ث واعتبرت ان ثقل مستقيمي اب و بث محصور

في نقطة س التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة ص مركز ثقل اب + بث و شد فتجد ايضا ان نقطة ز مركز ثقل اب + بث + شد و دا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمت الاربعة وهي اب و بث و شد و دا

وما ينفع التلامذة فترنهم على عمل كثير الاضلاع مثل اب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطا من حرير كخيوط ا ر و س ث و ص د الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة ا ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الساقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائما بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيمتصرون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصورا واضحا سهلا وهذا التمرين يعرفون عملية مفيدة جدا

ويجبرون على ممارسة القواعد الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة وخواصها * والاهتمام بتماثل الاشكال من
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصانع لا يهتمون
بهذا الغرض

وليكن كما في (شكل ٤) شكل ا ب ث د ه د ث ب ا مثلاً متماثلاً
بالنسبة لمحور ا ه ولتكن نقطة غ مركز ثقل محيط ا ب ث د ه
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقاً تاماً
وحيث انهما لا يختلفان لا في المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون
مركز ثقلهما موجوداً في نقطة واحدة فاذن تكون نقطة غ التي هي مركز
ثقل ا ب ث د ه في وضع متماثل بالنسبة لنقطة غ بمعنى ان غ و غ
يكونان على بعد واحد من المحور وموضوعين على مستقيم غ غ العمودي
على هذا المحور وحيث ان محيطي ا ب ث د ه و ا ب ث د ه
المتماثلين متساويان في الثقل كما مدلولاً عليهما بقوتين متساويتين احدهما
واقعة على غ والاخرى على غ وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما
واقعة على منتصف مستقيم غ غ اعني في نقطة غ على محور التماثل
فاذن ثبت المطلوب

ومركز ثقل اى خط تماثل يكون بالضرورة موضوعاً على محور التماثل
ولننبه على ان السطح المستوي المنتهى بمحيط تماثل يكون متماثلاً بالنسبة
للمحور المتقدم كالمحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهي به السطح المستوي الثقيل في جميع
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت تقطعتا غ و غ
دالتين على مركزى ثقل السطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم $\overline{غ غ}$ يكون عمودا دائما في نقطة $\overline{غ}$ على المحور ويكون
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$ فاذن يكون مركز ثقل كل مسطح مستو متماثل
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براويز ذات شكل ما لكنها
 متماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كالموجود كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة
 على ذلك يكون اتجاها هذه القوة الرأسى مارتا فرضا بنقطة التعليق او الارتباط
 الثابتة فاذن تنعدم القوة بالمنازع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون
 البرواز متوازنا

والمنازل الا فرنجية من خرفة بكثير من البراويز المتماثلة ايا ما كان شكلها
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة
 كانت قبيحة المنظر

ولئذ كررنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملحوظات العامة التي اسلفناها
 ونرمز بحرف $\overline{غ}$ في جميع الاشكال الآتية الى مركز الثقل فنقول

ان $\overline{غ}$ الذى هو مركز ثقل المحيط او مسطح البرواز المثلثى المتماثل مثل
 $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسى مارتا بنقطة $\overline{آ}$ التى هى
 رأس مثلث $\overline{ا ب ث}$ وبمنتصف قاعدته وهى $\overline{ب ث}$ فاذا علق هذا
 البرواز من نقطة $\overline{آ}$ التى هى رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة
 $\overline{د}$ التى هى منتصف قاعدته وهى $\overline{ب ث}$ (شكل ٦) وكانت هاتان

النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور
 يكون عين الوضع الذى يصير فيه محور $\overline{آ د}$ رأسيا واذا علق برواز على شكل
 شبه المنحرف المتماثل وهو $\overline{ا ب ث د}$ وكان تعليقه $\overline{اولا}$ من نقطة $\overline{ه}$
 التى هى منتصف قاعدته الصغرى وهى $\overline{ا ب}$ كفى (شكل ٧) وثانيا
 من نقطة $\overline{ف}$ التى هى منتصف قاعدته الكبرى وهى $\overline{ب د}$
 كفى (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو $\overline{ه ف}$
 المحتموى على $\overline{غ}$ التى هى مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنحرف

يكون موجودا في وضع رأسي وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجري ايضا في الاشكال المنتهية بخطوط مستقيمة او منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الاتية وهي

كل قوس كقوس دائرة \overline{AB} (شكل ٩) يكون متماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو \overline{OB} المار بمتصف هذا القوس فاذا تكون نقطة \overline{OG} التي هي مركز ثقل المحيط اوسط قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر \overline{OB} وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة \overline{AB} من منتصفه وهو \overline{B} كان طرفاه وهما \overline{A} و \overline{B} على افقي واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على أنه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنخرف وضع كوضع مركز مسطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع \overline{AB} وفي مسطح قطاع \overline{OAB} واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر \overline{OB} فانه يكون في هذه الصورة كالتى قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد متماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فاذا اخذ بالابتداء من رأس \overline{B} التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ \overline{BA} و \overline{BT} المتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حيثئذ هذا المنحنى من رأسه وهو \overline{B} فانه يكون متوازنا متى كان محور \overline{BD} تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثل مثل \overline{AB} و \overline{CD} كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الاشكال يكون مركز الثقل وهو \overline{OG} الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة \overline{OG} المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فاذن يكون مركز ثقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعليق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل
فاذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة
والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما \overline{AB} و \overline{CD} فاذن تكون نقطة \overline{XG} التي هي مركز ثقل محيط انقطع الناقص المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحنى
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما \overline{AB} و \overline{CD} وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة
وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي مع نقطة التعليق

(بيان مركز ثقل السطوح)

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح من المعدن رقيقة جدا ومتحدة السبك في جميع جهاتها وثقيلة المسطح

(بيان مركز ثقل المثلث)

اذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث كشكل \overline{ABC} (شكل ١٩) فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث يمكن اعتبارها كمستقيمات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم \overline{AH} الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فاذن يكون مركز مجموعها هو \overline{XG} اعني مركز المثلث السكالي على مستقيم \overline{AH} الواصل من \overline{A} الى منتصف \overline{BC} وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا على \overline{BF} وعلى \overline{CK} الواصلين من \overline{B} ومن \overline{C} الى

منتصفي $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة $\overline{غ}$ المشتركة بين خطوط $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\gamma}$ الثلاثة ولكن حيث ان نقطة $\overline{ك}$ و $\overline{ه}$ موجودتان في منتصف $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\gamma}$ فان مستقيم $\overline{ك\ه}$ يكون موازيا لمستقيم $\overline{ا\theta}$ فيحدث حينئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب
 $١ : ٢ :: \overline{ب\gamma} : \overline{ا\gamma} :: \overline{ك\ه} : \overline{ا\theta} :: \overline{ه\gamma} : \overline{غ\gamma}$
 فاذن يكون $\overline{ه\gamma} = \frac{١}{٢} \overline{ا\gamma}$ و $\overline{غ\gamma} = \frac{١}{٣} \overline{ا\theta}$
 وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا اقولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة

(بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$)

اذا اريدت تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبداء الامر مركزا مثليا $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ا\delta\theta}$ وذلك بايصال $\overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\delta}$ الى منتصف $\overline{ا\theta}$ واخذ $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\omega} = \frac{١}{٢} \overline{ه\delta}$ ثم اذا وصل كل من نقطتي $\overline{و}$ و $\overline{و}$ بمستقيم $\overline{و\omega}$ تحدث محصلة $\overline{و\omega}$ ف $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ا\delta\theta}$ = $\overline{ا\delta\theta}$ الواقعتين على نقطتي $\overline{و}$ و $\overline{و}$ فاذن تكون نقطة $\overline{غ}$ التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذي اربعة الاضلاع المذكور

ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام وفي شبه المنحرف وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو $\overline{غ}$ موجودا على مستقيم $\overline{ه\gamma}$ الذي يقسم جميع المستقيمات الموازية للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع اقطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني
القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون
مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك
يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل
من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا فى نقطة تقاطعهما
فاذا قسم اى سطح تماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بتضبان
متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا
على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة المتماثلة موجودا
على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون فى نقطة تقاطع
المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز الثقل فى السعات المستوية التى لها محورا تماثل
موجودا فى مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك فى الكلام على المحيطات المتماثلة
ولذا شرع الآن فى ذكر السعات او السطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور
متى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع
على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح المتماثل تماثلا بالنسبة
لهذا المحور

فاذا فعل فى السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها
قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها
موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون محصلة ثقلها موضوعة عليه
وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسيا فاذن تكون
المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجمله فتكون مراكز ثقل اجزى
والسطوح المنحنية المتماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور
ومتى كان لجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الحجم
ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محاور تماثل كسائر سطوح
الدوران فانها متى علت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الحجم
عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيًا

والنجفات المتعلقة بجبل اسلسلة في البيوت والسرايات والهياكل متماثلة دائماً
بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة مامن نقط هذا المحور
ويكون للمحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول
أب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة
للمحور المرتبط به خيطه

وليس كون المحور رأسيًا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة
بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او صاعدة
ومررت نقطة ارتباطها بمركز رأسي والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون
حينئذ باقية على وضعها الرأسي ما لم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى
جهاتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبذلك الخاصة يتحقق العمل
وسياتى ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل
وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كقبل التوغل
في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمراكز الثقل
فنقول

(بيان مقادير القوى المتوازية)

مقي كان لقوتى S و V (شكل ٢٤) المتوازيين الواقعتين
على نقطتي A و B من مستقيم AB محصلة كمحصلة Z واقعة
على AB في نقطة O حدث

$$S \times OA = V \times OB \quad \text{اي} \quad S : V :: OB : OA$$

فاذا مددنا مستقيم M و N عمودا على اتجاه القوتين المتوازيين

حدث هذا التناسب وهو $\overline{و} : \overline{وا} :: \overline{و} : \overline{وم}$ كما تقدم (في المدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)

وبناء عليه يستبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و} : \overline{وم}$$

الذي يحدث منه $\overline{س} \times \overline{وم} = \overline{ص} \times \overline{و}$

وحيث أن $\overline{س}$ و $\overline{وم}$ ثابتان فإذا فرضنا أن بعد $\overline{و}$ يكون

على النصف يلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون مضعفة مثني ليكون الحاصل

ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نفرض أن بعد $\overline{و}$ يكون

على الثالث فيلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك

من أن نفرض أن بعد $\overline{و}$ يكون على الربع فيلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون

متضاعفة رباع وهكذا فيأخذ حينئذ في الازدياد تأثير قوة $\overline{ص}$

في مقاومة $\overline{ز}$ المساوية لمقاومة $\overline{ز}$ والمضادة لها لاجل توازن القوة

المذكورة مع قوة أخرى كقوة $\overline{س}$ موازية لها وازدياد هذا التأثير

يكون أولا بالنسبة لقوة $\overline{ص}$ المذكورة وثانيا بالنسبة لبعد

$\overline{و}$ وهو يعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة * والحاصل

الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة $\overline{و}$

هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة $\overline{و}$ المذكورة

فإذا كان $\overline{س} \times \overline{وم}$ هو مقدار قوة $\overline{س}$ وكذلك يكون

$\overline{ص} \times \overline{و}$ مقدار قوة $\overline{ص}$ ولذا ذكر شرط التوازن المبين

$$\text{بمعادلة } \overline{س} \times \overline{وم} = \overline{ص} \times \overline{و} \text{ فنقول}$$

يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ متوازيتين

حول نقطة $\overline{و}$ الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة

المذكورة واحدا في كل منهما

ويشترط أيضا أن تكون قوتا $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ يديران المستقيم إلى جهتين

متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة $\overline{آ}$ (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوى ص و ز المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم

ا ح عمودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{ا ح} : \overline{ا خ}$$

فاذن يكون $\overline{ص} \times \overline{ا خ} = \overline{ز} \times \overline{ا ح}$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتى قبلها واحدا في قوى

ص و ز المتوازيتين مع قوى س و ص كما انه واحد ايضا

في قوة ص وقوة ز التى هى محصلة س و ص

ولمذالان مستقيما حيثما اتفق كستقيم ا م د (شكل ٢٥) من نقطة ا

ونجعل مستقيمي و م و ب د عمودين على هذا المستقيم فيحدث

من خواص الخطوط المتناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{و م} : \overline{ب د}$$

وينتج من ذلك ان $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{و م}$

فيكون حاصل ضرب قوة ص في بعد نقطة وقوعها وهى ب على

مستقيم ا م د وحاصل ضرب قوة ز في بعد نقطة وقوعها وهى و

على هذا المستقيم هما مقدارا ص و ز المأخوذان بالنسبة للمستقيم

المذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه ففى كان محور المقادير مارا بنقطة وقوع قوة س المتوازنة مع قوى

ص و ز المتوازيتين كان مقدار ص مساويا لمقدار ز وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيما ل م ن موازيا للمستقيم ا م د ثم جعلنا ا ل

و و م و ب د و ن اعمدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{ا ل} = \overline{ن د} = \overline{م م}$$

$$\text{لكن } \overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$$

فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$
 وتقدم أن $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$

فعلية يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$
 فإذا جعلنا حينئذ مستقيما كستقيم $\overline{ل م ن}$ محورا للمقادير كان مجموع
 مقداري قوة $\overline{س}$ وقوة $\overline{ص}$ المتوازيين مكافئا لمقدار قوة $\overline{ز}$
 الموارد لهما فيكون مكافئا ايضا لمقدار قوة $\overline{ز}$ التي هي محصلة قوتي
 $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ حيثان $\overline{ز} = \overline{ز}$

ولنفرض الآن أن هناك ثلاث قوى مركبة مثل $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$
 (شكل ٢٦) فننقلها الى اى محور من مقادير $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ يحدث

أولا $\overline{س} \times \overline{اسه} + \overline{ص} \times \overline{بصه} = \overline{ز} \times \overline{دز}$
 وثانيا $\overline{ز} \times \overline{دز} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$
 فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{اسه} + \overline{ص} \times \overline{بصه} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$
 وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن في المستوى ايضا على ان مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست
 او غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع
 محورا للمقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقط وقوع القوى عمودا على محور
 المقادير كان حاصل ضرب المحصلة في البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا
 لمجموع الخواصل الموافقة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات فخرت الاجسام
 والالات فلا بد للتلاميذ من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والضبط
 وفائدة الخاصية المذكورة هي انها تبين بدون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة
 ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هناك ما يجبرنا على اخذ هاشنى
 وثلاث الخ

ولذلك نمد مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيمي $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$

(شكل ٢٧) ثم تنزل من نقط وقوع قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ض}$ الخ وهي $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ و $\overline{د}$ الخ بأعمدة $\overline{أأ}$ و $\overline{بب}$ و $\overline{ثث}$ الخ و $\overline{أأ}$ و $\overline{بب}$ و $\overline{ثث}$ الخ على $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ فإذا كانت $\overline{غ}$ نقطة وقوع محصلة $\overline{ز}$ فإنه يحدث

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots$$

$$\text{و } \overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots$$

ويستخرج من ذلك

$$(أ) \quad \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots}{\overline{ز}}$$

$$\text{و } \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots}{\overline{ز}} \quad (-)$$

ولا تغفل أن محصلة $\overline{ز}$ تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فإذا تساوت قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ض}$ الخ وكان عددها $\overline{د}$ (أي غير متناهية) فإن محصلتها $\overline{ح} \times \overline{د}$ فاذن يحدث من مساواة المقادير

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots$$

$$\overline{غ} \times \overline{د} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{ب} \times \overline{بب} + \overline{خ} \times \overline{ثث} + \dots$$

$$\text{ويؤخذ من ذلك أن } \overline{د} \times \overline{غ} = \overline{أأ} + \overline{بب} + \overline{ثث} + \dots$$

$$\overline{غ} = \frac{\overline{أأ} + \overline{بب} + \overline{ثث} + \dots}{\overline{د}}$$

فاذن يكون

وعليه فحي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الأبعاد على عدد القوى فإنه يحصل بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثيرا في الفنون

وإذا لم يكن هنالك الاثلاث قوى مساوية لقوة $\overline{ح}$ وواقعة على نقط $\overline{أ}$

و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ الثلاثة التي هي رؤس مثلث $\overline{أبث}$ (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد
هذا المحور عن نقطتي وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون
حينئذ معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما
ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى بجعل ر فيه رمزا للمحصلة
وهو $ر \times غ غ = ح \times ث$ لكن $ر = ٣ ح$
فيكون حينئذ $غ غ = \frac{١}{٣} ث$ على وجه التعديل

وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث
موجودا في ثلث بعد كل رأس عن انقاعده التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز
عين مركز ثقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل
اربعة قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين
مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا
في حسابات الميكانيكا

وبمجرد تحصيل بعدى نقطة ع وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)
عن مستقيمي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة
التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى
ح و خ و ر و ض الخ الواقعة على نقاط أ و ب و ث و د الخ
(فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستوا واحد لزم استبدال محاور المقادير
بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور
أ ب و ر الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا صورتين يكون
مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك
بخواص الخطوط المناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتفا هي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة
في تحصيل وضع مركز ثقل ما يراد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح
او الججوم سواء كان تفرقها مستمرا او لا

وإذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو أ ب (شكل ٢٩) فإنه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كـ س ت ثم عن مستقيم ثان كـ س ت ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمات الاولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولًا غ غ وثانيًا غ غ ولا يلزم ايضاح الطرق الآتية التي تستعمل لاجل تحصيل مركز ثقل السطوح والججوم الا بالنسبة للميناء فنقول

ان جلا فظة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولًا وضع مركز ثقل كل شراع وثانيًا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعًا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة بهاميل السفينة وتنقلب حيث لا مانع وما الانزع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول نقط تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتنقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها و م مركز ثقلها معينًا

فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى ح و خ و ر الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط آ و ب و ث الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى

(١) و (٢) المتقدمتين بعدا نقطة غ التي هي مركز ثقل الشراعات وهما غ غ و غ غ عن محوري و س و و ص اللذين احدهما افقي والاخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة أم المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمنحنى أم وثلاث مستقيمات عمودية على بعضها وهي آ آ و أم و م م والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم أم فلذلك نقسم مستقيم أم المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوى ل ونمد من نقط المستقيم مستقيمات ب و ث و د الخ الموازية لمستقيم آ آ و م م

فاذا اعتبرنا اجزاء منحنى $\overline{ا ب ش د}$ الخ وهى $\overline{ا ب}$ و $\overline{ب ش}$ و $\overline{ش د}$ الخ الصغيرة جدا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح $\overline{ا م م} = \overline{ل} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots \times \frac{1}{4}$ $\overline{م م}$ الخ

واذا فرض اننا استبدلنا من مبدء الامر شكل $\overline{م ا ا ب ش د}$ الخ المتصل بشكل $\overline{م ا ب ش د د}$ الخ المدرج فان مراكز ثقل هذين الشكلين وهى $\overline{خ}$ و $\overline{ن خ}$ و $\overline{ن خ}$ الخ تكون متباعدة عن $\overline{ا م}$ بكميات تساوى $\frac{1}{4}$ $\overline{ا ا}$ و $\frac{1}{4}$ $\overline{ب ب}$ و $\frac{1}{4}$ $\overline{ش ش}$ كل لنظيره فاذن تكون مقادير المستطيلات التى يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة لمحور $\overline{ا م}$ هكذا

$$\overline{ا ا} \times \overline{ل} = \overline{ا ا} \times \frac{1}{4}$$

$$\overline{ب ب} \times \overline{ل} = \overline{ب ب} \times \frac{1}{4}$$

$$\overline{ش ش} \times \overline{ل} = \overline{ش ش} \times \frac{1}{4}$$

فيكون المقدار الكلى $\overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots \overline{م م})$ ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلى يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمت $\overline{ا ا}$ و $\overline{ب ب}$ و $\overline{ش ش}$ مضروبا فى نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكل $\overline{م ا ا ب ش ش}$ مدرج كان المقدار الكلى $\overline{ل} (\overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots \overline{م م})$ وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح $\overline{م ا م}$ المتصل احدهما مقدار صغير جدا وهو $\overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots \overline{م م})$ ثانيهما مقدار كبير جدا وهو

$\frac{1}{4} \text{ ل } (\overline{\text{بـ}} + \overline{\text{ثـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}})$
 فإذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{4} \text{ ل } (\overline{\text{اـ}} + \overline{\text{بـ}} + \overline{\text{ثـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}})$
 فإذا كان يكون مقدار السعة او المسطح وهو $\overline{\text{مـ}} \overline{\text{اـ}}$ مساويا لنصف عرض ل
 من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات اطوال $\overline{\text{بـ}}$ و $\overline{\text{ثـ}}$ الخ
 المتوسطة وفي نصف مربع طول $\overline{\text{اـ}}$ و $\overline{\text{مـ}}$ المتطرفين

فيكون المقدار المتحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فإذا قسمنا هذا المقدار على سعة $\overline{\text{مـ}} \overline{\text{اـ}}$
 حدث $\overline{\text{عـ}}$ غ الذي هو بعد محور ام عن مركز ثقل هذه السعة
 وهو $\overline{\text{غ}}$

وعليه فيكون $\overline{\text{عـ}} \overline{\text{غ}} = \overline{\text{اـ}} + \overline{\text{بـ}} + \overline{\text{ثـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}} + \overline{\text{مـ}}$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو اسهل شئ الا انه ينبغي فيه التأني
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا
 التي خاصيتها ان مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الآخرين
 وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها انفعامة فنستعمل في سطوح اى شكل
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محور سـ ص عن نقطة $\overline{\text{غ}}$ التي هي
 مركز ثقل سعة $\overline{\text{اـ بـ ثـ مـ مـ مـ مـ}}$ (شكل ٣١) فنمد
 متوازيات $\overline{\text{اـ}}$ و $\overline{\text{بـ}}$ و $\overline{\text{ثـ}}$ و $\overline{\text{دـ}}$ الخ التي على بعد
 واحد من بعضها وليكن $\overline{\text{غ}}$ و $\overline{\text{غ}}$ مركزي ثقل شكل

ما ابث دم و ما اشد من فيحدث عنهما

$$\frac{\frac{1}{4}م + \frac{1}{4}ش + \frac{1}{4}ر + \frac{1}{4}م}{\frac{1}{4}م + \frac{1}{4}ش + \frac{1}{4}ر + \frac{1}{4}م} = \text{وغ}$$

فیکون اولاً مقدار

وَنُثَابُ مَقْدَارِ

$$\overline{(\frac{1}{r}m + \dots + \overline{b} + \overline{c} + \overline{a} \frac{1}{r})} \cdot \frac{1}{r} = \dots \overline{abdm}$$

أَرْشَمُ أ = $\frac{1}{f}$ ل $\frac{1}{f}$ أ + ر + ش + $\frac{1}{f}$ م م)
 فيكون خارج قسمة فاضل هذين المقدارين على فاضل السطوح أي السطح

المفروض وهو ابشدم شأ هو بعدم كز نقل هذا السطح وهو
غغ عن محور المقادير وهو س ص

ويسهل بواسطة (شكل ٣٠) ايجاد $\overline{غغ}$ الذي هو بعد مركز ثقل

نغ بالنسبة الى محور ١١ العمودى على ام
فاذا حسبنا مقدار الطبقات المتوازية المدرجة الصغيرة جدًا وكان ذلك
النسبة الى ١١ حدثت هذه المقادير

$$\overline{11} \times \overline{1} \times \overline{1} = \overline{11} \quad \text{قۇلامقۇدار}$$

این مقدار $\frac{1}{r} \times \frac{1}{r} \times \frac{1}{r} = \frac{1}{r^3}$

الثام مقدار ش د د = ش د د

يكون المقدار الكلي $\frac{1}{2} (1 + 3 + 5 + 7 + \dots + 2n + 1)$ (1)

مما أبشده الح

المتصل حدث

$$\overline{\text{مقدار}} \quad \overline{\text{أ}} \times \overline{\text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad \frac{1}{2}$$

$$\overline{\text{ومقدار}} \quad \overline{\text{أ} + \text{ب}} = \overline{\text{أ} + \text{ب}} \quad \frac{3}{4}$$

$$\overline{\text{ومقدار}} \quad \overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} \quad \frac{5}{6}$$

فأذن يكون المقدار الكلي مساويا

$$\overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} \quad (-) \quad (0000 + 55 + 77 + 00 + 33 + 00 + 00 + 00)$$

وبأخذ نصف مجموع مقدارى (أ) و (-) يحدث

$$\overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب} \times \text{ج}} \quad (ج) \quad \{ \dots + 55 + 77 + 00 + 33 + 00 + 00 + 00 \}$$

ونستتر كذلك الى م م الذى لا يضرب فى ضعف عدد الطبقات الموافقة له

بل يضرب فى عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مقسوما على سطح

أ ب ث د الخ يساوى غ غ

ثمان صناع السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات

الافقية المتنوعة المصنوعة فى القارين (أى الجزء الاسفل من السفينة)

والمنتهية بمحيطات يسمنها خطوط الماء وخطوط التوج واسهل الطرق فى ذلك

الطريقة التى ذكرناها فيلزم أن تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين

البحريين مستعملة ايضا عند صناع سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا

الطريقة التى ذكرناها لتعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبة ومقدارها

فلنقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستوي المسقط المتقاطعين وهما

المستعملان فى الهندسة الوصفية (كما تقدم فى الدرس الثالث عشر من

الهندسة)

وانقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السبك مرموز اليها بحروف

أ و ب و ج الخ والى طبقات افقية مبينة باعداد ١ و ٢ و ٣

الخ ومتحدة السبك ايضا ويكون ترتيب الارقام دالا على ترتيب الطبقات

فأذا فرضنا (شكل ٣١) ان سعة أ ب ث د الخ قاعدة اسطوانة

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا اقليما على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولتوهم انقسام اى حجم كسفيئة مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التي في شكل ٣٢ وتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج السلام المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى في اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذي يكون سطحه متصلا وبالجملة اذا فرضنا ان θ هو الارتفاع الرأسى لسائر الطبقات او المدرجات حدث

(اولا) ان حجم كل درجة من السلام يكون مساويا θ مضروبا في سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا اقليما على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع θ مضروبا في مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار المدرج الذي تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعا) ان مجموع حجومات المدرجات يكون دالا على حجم Q الكلى للجسم المفروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالا على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور W وكان مجموعها M

حدث $\overline{W} = \frac{M}{Q}$ فاذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور W وكان

$$\text{مجموعها م} \quad \text{فانه يحدث و غ} = \frac{\text{م}}{\text{ق}}$$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصنائعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أى حجم على وجه الصحة والضبط هذا ولا نبالي من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة مما لا بد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع ان البحارة اذا عرفوها حق المعرفة وأجروا مامثلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفنهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدّة سطوح وعدّة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وابقينا للتلامذة الذين يريدون التجرد في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المؤلفة في هذا المعنى وثبات ما ذكره من الخواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى وبقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستوى مواز لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما للمنشور او للاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذى يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى تماثل فاذا كان يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حينئذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتزحلق على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرّج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرّج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة

فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرّجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي نجيدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

ثقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها
 وليكن $\overline{غ}$ (شكل ٢٣) مركز ثقل قاعدة $\overline{أ ب ث}$ لهرم
 $\overline{ض أ ب ث}$ فيكون $\overline{ك غ} = \frac{1}{3} \overline{ك ب}$ وليكن أيضا $\overline{غ}$
 مركز ثقل $\overline{ض أ ث}$ فيكون $\overline{ك غ} = \frac{1}{3} \overline{ك ض}$ فاذن
 إذا مددنا $\overline{غ غ ب}$ و $\overline{غ غ خ}$ فان خطي $\overline{ك ض}$ و $\overline{ك ب}$
 يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون $\overline{غ غ ث}$ ثلث $\overline{ب ص}$
 وكذلك $\overline{ك غ}$ يكون ثلث $\overline{ك ب}$ و $\overline{ك غ}$ ثلث $\overline{ك ض}$
 فبسبب تشابه مثلثي $\overline{غ غ غ}$ و $\overline{غ ب ض}$ يكون $\overline{غ غ غ} = \frac{1}{3} \overline{غ غ ب}$
 $\overline{غ غ ض}$ وبناء عليه يكون $\overline{غ غ غ} = \frac{1}{4} \overline{ض غ}$ فاذن يكون مركز
 ثقل الهرم موجودا في ربع بعد الرأس عند مركز ثقل القاعدة
 ومركز ثقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز ثقلها
 ومركز ثقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل وعلى سهم الطيلسان
 ويكون في منتصف هذا السهم
 ومركز ثقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها
 فاذا مددنا مستويا قاطعا من محور مخروط قائم مستدير تمام أو ناقص فان مركز
 ثقل المثلث أو شبه منحرف القطاع يكون مركز ثقل سطح المخروط التمام
 أو المخروط الناقص
 ومركز ثقل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء
 من المركز
 ومركز ثقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء
 من الرأس
 ومركز ثقل قطعة الحزم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره

يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

(*) بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام *

ينبغي أن نفسر ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الحجم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

لنفرض أن مركز ثقل $\overline{غ}$ (شكل ٣٣) لسطح دائر حول محور $\overline{وو}$ يكون معيناً في رسم محيط $\overline{وم}$ في حال التحرك لسطح دوران ويكون الحجم المحصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح $\overline{وم}$ ومضروباً في الدائرة التي قطعها مركز $\overline{غ}$

ولأثبت ذلك نمد من محور $\overline{وو}$ مستويين كمستوي $\overline{وح}$ و $\overline{وخ}$ متقاربين من بعضهما قريباً كلياً بينهما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر أن الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة $\overline{وم}$ وعلى مستوى $\overline{وح}$ فاذا قسمنا هذه القاعدة إلى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة لمنشور صغير قائم منته بمستوى $\overline{وخ}$

وليكن $\overline{وس}$ من هذه المربعات الصغيرة فاذا مددنا من نقطة $\overline{س}$ التي هي مركز المربع المذكور خط $\overline{سز}$ موازياً لمحور $\overline{وو}$ فانه يحدث معنا حجم منشور منشور ارشد تكون قاعدته $\overline{وس}$ ومنته $\overline{وز}$ وارتفاعه ويكون مساوياً $\overline{وس}$ ومنته $\overline{وز}$ وعليه فهذا الحاصل هو مقدار $\overline{وس}$ المنقول على مستوى $\overline{وخ}$ بالنسبة إلى مستوى $\overline{وح}$ فاذن يكون مجموع حجوم المنشورات اعني حجم قطع $\overline{وح}$ مساوياً لمجموع مقادير سرعة $\overline{وم}$ في مستوى $\overline{وخ}$ بالنسبة لمستوى $\overline{وح}$

فإذا اسقطنا في $\overline{غ غ}$ نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل $\overline{وم و}$ حدث

سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ} =$ مجموع مقادير $\overline{وم و}$ الموضوع
في مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة إلى مستوى $\overline{وح}$ فإذا كان الحاصل
هكذا

سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ}$ يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور
بين $\overline{وح}$ و $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون $\overline{غ غ}$ مساويا للمسافة التي يقطعها مركز $\overline{غ}$
لينتقل من مستوى $\overline{وح}$ إلى مستوى $\overline{وغ}$ متى فرضنا أن المستويين
متقاربين من بعضهما تقاربا كليا

فإذا حدث من سطح $\overline{وم و}$ مضروباً في مسافة $\overline{غ غ}$ التي يقطعها
مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو $\overline{وو}$ حاصل مساو لحجم جزء من
جسم الدوران محصور بين مستويي $\overline{وح}$ و $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية
ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات
مبيناً بحاصل ضرب سعة $\overline{وم و}$ في المسافة التي يقطعها مركز ثقل
هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حادثاً من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم
هذا الجسم مساوياً لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التحرك
مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبق على حالة واحدة متى كانت سعة $\overline{وم و}$ الدائرة
حول $\overline{وو}$ لاجل الانتقال من $\overline{وح}$ إلى $\overline{وغ}$ دائرة حول محور ثان
مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير أو صغير من سطح الدوران

الجديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جديد مساويا لسطح السعة
الرابعة مضر وبافي المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

(تطبيق)

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمار جية الماهرين في حساب حجوم
او كيات الاحجار والحديد والاشخاب التي تحتوى عليها السلالم الخترونية
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور
في حساب حفر وردم الخللجان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجراء
المستديرة من المحارج النارية وهلم جرا ويكثر استعمالها ايضا عند
صناع السفن في تكعيب الاشخاب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة
والميكانيكا من الروابط الا كيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط
والسهولة ولنشر الان عن ساعد الجدة والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها
لهذين العلمين الظريفيين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

(الدرس الخامس)

(في بيان ما بقى من قوانين التحرك)

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعتين على نقطة مادية في اتجاه واحد
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على ساطة
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبدء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح ينقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان يتحرك كهما حاصلا في زمن واحد وفي ازمة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدته

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون كالملاح كان مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو يتأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها او كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى فاذا اردت أن تعرف لذلك مثالا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سار الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستمر على هذا التحرك الا لتقالي بالسرعة
المنتظمة ولواستعملت كمية واحدة من القوة لتحرك لها
فاذا اطلقت بندقة او طبخجة من نقطة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير
هذا التحرك مدة المسافة التي تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقية
او الطبخجة الى الهدف المعين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة
المذكورة فنقول

لنفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام كجسم A (شكل ١) تكون
مدفوعة بقوتين موزالينهما AS و AV فان اثر القوة
الاولى وحدها فانها تسير جسم A في ازمة متساوية مسافات AS
و ST و SD الخ المتساوية على مستقيم AS الذي هو امتداد
 AS وان اثر القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم A المذكور في تلك
الازمنة المتساوية مسافات AS و ST و SD الخ المتساوية على مستقيم
 AV الذي هو امتداد AV

فاذا اثرت قوة AS وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم A الى S
ثم اذا اثرت قوة AV وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها
الاصلي فانها تسير جسم A على مستقيم SB المساوي لمستقيم AS
والموازي له

واذا اثرت قوة AS وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم A الى S
ثم اذا اثرت قوة AV وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين
فانها تسير جسم A على مستقيم ST المساوي لمستقيم AS
والموازي له وهكذا

وبالجملة فنقط B و T و D الخ التي ينقل فيها الجسم حين تكون
قوتنا AS و AV مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معامدة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المتناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها

ا ر : ر ب :: ا ث : ث ش :: ا د : د د ...

تستلزم ان نقط ا و ب و ث و د الخ تكون على مستقيم واحد

وان اشكال ا ر ب و ا ث ش و ا د د الخ تكون متوازية

الاضلاع ويكون لهما وتر موضوع على مستقيم ا ب ث د الخ فاذن

مقي وقع على الجسم تأثير قوتين فانه ينعزل على مستقيم واحد ويتبع وتر

متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دالا على المسافة التي يقطعها الجسم

المذكور اذا كان مدفوعا مدة زمن واحد باحدى القوتين المركبتين

وعليه في كان القوتان المركبتان مبينتين مقدارا واتجاها بمستقيمي ا ر

و ا د فان محصلتهما ا د تكون مبينة ايضا مقدارا واتجاها بوتر متوازي

الاضلاع وهو ا ر ب الذي ضلعه ا ر و ا د وهذا هو المسمى

بمتوازي الاضلاع للقوى

(ولامانع من أن نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع للقوى برهنة صحيحة

فنقول

لفرض قوتين حيثما اتفق كقوتَي س و ص المبينتين (شكل ٢)

بمستقيمي ا م و ا ن ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

ا م ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم ا م وعلى

امتداد قوتين متضادتين كقوتَي س و ص مساويتين لقوة ص

فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة س و ص

ونركب الآن س مع س و ص مع ص

فاذا كانت ص المتجهة على ش ك محصلة قوتَي س و س

المتوازيتين حدث

س : س :: ا ن : ا ن :: ا ش : ا ش

لكن حيث ان خط $\overline{ش ك}$ مواز لـ $\overline{ن ع}$ يحدث من خاصية الخطوط
المتناسبة (كفاي الدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{اش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$ وبما مستقيم $\overline{ك ن ر}$ تكون

زاويتا مثلث $\overline{ك ش ن}$ وهما $\overline{ش ك ن}$ و $\overline{ش ن ك}$

متساويتين وكذلك زاوية $\overline{ك ن ع}$ تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم $\overline{ك ن ر}$ زاويتي $\overline{ان ع}$ و $\overline{ص ن ع}$

الى جزئين متساويين وحيث ان قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ص ع}$ متساويتان

فان محصلتهما وهى $\overline{ر}$ تكون موضوعة على $\overline{ك ن ر}$ اذ لا مقتضى

لكونها اقرب من احدى قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ص ع}$ المذكورتين اكثر من
ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ عين محصلة قوتي $\overline{ض}$ و $\overline{ر}$

لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة $\overline{ا}$ المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخيرين مارة بنقطة $\overline{ك}$ المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ مارة بنقطتي $\overline{ا}$ و $\overline{ك}$ اعنى انها تكون مارة

بمستقيم $\overline{ا ك ع}$ الذى هو وتر متوازى الاضلاع وهو $\overline{ام ع ن}$

الذى ضلعاها وهما $\overline{ام}$ و $\overline{ان}$ دالان على قوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

المركبتين

ولاجل تفصيل مقدار محصلة $\overline{ز}$ المتجهة على $\overline{ا ع}$ (شكل ٣) نجعل $\overline{ز}$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخيرين

ولترسم متوازي اضلاع يكون وتره متجهها على \overline{AM} وضلعاه متجهين على \overline{AN} و $\overline{AE} = \overline{AF}$ حتى اريد أن \overline{AN} يكون دالاعلى المركبة الاولى وكان \overline{AM} اتجاه محصلة \overline{S} وكانت المركبة الثانية وهى \overline{Z} متجهه على \overline{AE} لازم أن يكون \overline{AE} ضلعامن متوازي الاضلاع وهو \overline{AN} \overline{M} \overline{E} فاذن يكون $\overline{AE} = \overline{NM} = \overline{AE}$ فتكون محصلة $\overline{Z} = \overline{Z}$ مبينة المقدار والاتجاه بمستقيم \overline{AE} وهو وتر متوازي الاضلاع وهو \overline{AM} اذا كان \overline{AM} و \overline{AN} اللذان هما ضلعان متوازي الاضلاع المذكور دالين على المركبتين) وكلما كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقا على ما ينشأ عن الاعضاء من الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التى نجبر على عملها لزم أن نعتبر فى سائر الاحوال ان مانستعمله من القوى المركبة يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهه بنفسها الى الجهة التى يظهر لنا انها موافقة وان كمية القوى المعدومة تكون قليلة مهمما يمكن هذا وقد تجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المحبوبة بالانتباه والمواظبة فى القوريات والورش يحدث منها فى القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة ويتمسره التباعد عن الاخطار المهولة ولنوضح ذلك بشال يكثر وقوعه مع ما فيه غالبا من الضرر فنتقول

اذا كانت حركة العربىة سريعة فازيجت راكبيها فوثب من باها ونط الى الارض فان جسمه يكون مدفوعا أولا بتحرك هذه العربىة الافقى وثانيا بتقوة التماثل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة سببا فى وقوع هذا الشخص حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثرا مع الانحراف فان هذا القطر الذى يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه اذا كان منتصبافىنبغى له حتى لا يقع أن يميل كثيرا عند النط بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربة وكثيرا ما تزقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النظر من عربة مجرورة بافراس ارجعتهم سرعتها وما ذل ذلك الا لجهلهم بهذه الكيفية ودهشتهم عند حصول الخطر

ومتى كان ضلعان كضلعي **أ ب** و **أ ث** من شكل متوازي الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه فقي **ك** كان قوتان متساويتين فان محصلتهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعي لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** الرأسى (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذنانها متى كانت منتصبة مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذي يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** فاذن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعة في هذا المستوى ودافعة لكل طائر على اتجاه معين بهذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساقاه مستعملة على وجه متماثل كان جانباه متماثلين ولاجل تحصيل تأثير ميكانيكى ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

وبمثال هذا التأنيروؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة بيديه ورجليه كما في (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخص الرجلين بسهام **ف ف ف ف** والمحصلتان برمزي **ر ر**

والسهم التماثل الصوره له بالنسبة للمستوى الرأسى الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امسا ط موضوعة بالتماثل على جانبيه يحركها مع السوية كما ان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون في هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستوراى متماثل ومتجه من المؤخر الى المقدم ففى اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية موضوعة بوجه متماثل فى كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى (شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة محلات ذات كفات وتارة اثقالا (راجع القوى المحركة فى الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة تلك القوى موضوعة دائما فى مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة سيرا مستقيما

وقد يؤخذ من العوم الناشئ عن قوة الهواء الجانبى تطبيق ثابت دائما يتعلق بتحليل القوى وليكن أ ب (شكل ٩) محور السفينة التى يكون فيها مستقيم م ن دالا على مسقط الشراع المستند فى نقطة و على الصارى فاذا كان و ح دالا مقدارا واتجاها على قوة س التى يدفع بها الهواء الشراع نرسم متوازى الاضلاع القائم وهو و ث ح د الذى وتره و ح فاذا حللنا قوة و ح الى قوتين فان احدهما وهى و ث الموجودة فى جهة شراع م ن لا تحدث تأثيرا مانسيه السفينة وثانيتهما وهى و د العمودية على الشراع وهى التى دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصارى والسفينة واذا حللنا قوة و د الى قوتين اخريين فان احدهما وهى و ه تكاد تسيير السفينة فى جهة محور التماثل وثانيتهما وهى و ف تدفعها بالجانب وتحدث التحرك المسمى بالانحراف ويجب على صانع السفن والملاح أن يزجأ تركيب سفنهما وتحركها بحيث يحدث من قوة و ه اعظم سير ممكن ومن قوة و ف اقل انحراف ممكن

وفى متوازى الاضلاع وهو أ ب ث د (شكل ١٠) اذا كانت زاوية ب أ ث منفرجة جدا يكون وتره وهو أ د قصيرا جدا وكلما كانت زاوية ب أ ث صغيرة كان الوتر المذكور ممتدا الى النقطة التى تكون فيها

زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ المذكورة معدومة وحينئذ يكون $\overline{\alpha\theta}$ موضوعا على $\overline{\alpha\beta}$ وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ معدومة لاتكون محصلة قوتي $\overline{\alpha\beta}$ و $\overline{\alpha\theta}$ مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين

ويكثر استعمال خاصية محصلة $\overline{\alpha\delta}$ وهي انتقاصها كلما زادت زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ ولذا كررنا ذلك مثالا سهلا فنقول

إذا فرض أن المطلوب ربط صندوق $\overline{م\theta}$ بجبل من دبارة (شكل ١١) فإنه يبدأ بجعل $\overline{\theta\alpha}$ الذي هو طرف الجبل المذكور مازنا من حلقة $\overline{\alpha}$ المصنوعة في نقطة $\overline{\alpha}$ التي هي طرف $\overline{\alpha\beta}$ ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا في اتجاه قريب جدا من $\overline{\alpha\theta}$ فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير في هذه الجهة فإن هذا الطرف يوجه بالعرض الى $\overline{\alpha\delta}$ ومتى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية $\overline{ب\theta\delta}$ أعنى أن نقطة $\overline{\alpha}$ تجبر على أن تكون

في $\overline{ه}$ بحيث أن الوتر الصغير وهو $\overline{ه\theta}$ من متوازي الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة للشد التي توازن شدى الجبل العظيمين وهما $\overline{ب\theta}$ و $\overline{ه\theta}$ ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم بين $\overline{ه\theta}$ و $\overline{ه\delta}$ الخ وتوصل نقطة $\overline{ه}$ الى نقطة $\overline{\alpha}$ بواسطة شد الجبل شدا تدريجيا

وكانوا سابقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب أو السهم فكانوا يرمونه بقوس $\overline{\theta\delta}$ المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر $\overline{\theta\delta}$ وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم في الدرس الثالث من الهندسة أن كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقنص والحرب واستعملت في الفاظ العلم ولذا ذكر تأثير القوس فنقول

أن الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه في نقطة $\overline{ه}$ ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويتكى على هذا الطرف في نقطة $\overline{ف}$ التي

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في إبعاد نقطة $ه$ عن نقطة $ف$ يكون
 مينا بمقدار ٢ $ف غ$ وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوترين يكون مينا
 بمقدار $غ د$ و $غ ث$

فإذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة $غ$ طرف السهم فإن نصفي وترى
 $غ ث$ و $غ د$ يأخذان طولهما الأصلي وذلك لأنهما يؤثران في السهم
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو $غ ه$

وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر إلى القوة التي بها يرمى

سهم $اب$ كنسبة طول $غ ث$ أو $غ د$ إلى ضعف $غ ف$
 لأن $غ ف$ هذا هو نصف وتر متوازي الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي
 $غ ث$ و $غ د$

ولكن حيث كان قوس $ث ه د$ في العادة جسما مرنا فإنه يكاد أن يكون

قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية $ث غ د$ وبذلك تزداد القوة التي
 يرمى بها السهم أيضا وبهذه الطريقة يمكن لأي إنسان لا يستطيع يده رمي السهم
 بعيدا عنه إلا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم إلى إبعاد
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به أو يقتل الإنسان أو غيره من الحيوانات الكبيرة
 وهالك مثلا آخر يبين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي
 ينشئ بها وتر القوس فنقول

إذا كان الغرض أن الهرب (أي العود الأفريقي) يكون له درجة من الشدّة
 يصل بها إلى صوت لا تقي له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوي
 الأوتار أربع مرات أو خمسة فإن الرجلين الشديدين إذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء بأكمله
وقد حسب المهندس بروني شداوتار الپيانو (ای القانون الاخرنجي) فوجد
مجموع شداته يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالنقي الصغير الذي اذا مدت
ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجدي في اصابعه اللطيفة
قوة كافية للقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من منتصفها بانامله بحيث
يحدث من ذلك نصف اوترين منزويان وهما ضلعا كثيرا لاضلاع (شكل ١٣)
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع النقي المذكور ومتى فتح يده
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحرك الاهتزاز الذي نسمع رتبه
مدة طويلة ما لم ينقطع بالدقاسة او ينعدم بين انغماس الاهوية والمقامات
المتوالية

ولم نذكر الى هنا الامايتة على بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذي لم يتكون
الامن من كبتين ومحصلتهما

ولنفرض الآن أن هناك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كنقطة A
(شكل ١٤) وليكن AB و AC و AD اجزاء من مستقيم واحد
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع
وهو $ABDE$ باعتبار مستقيمي AB و AC كضامعين له كان وتره
وهو AE دالا على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي AB و AC معا وقوة AE وحدها
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة AE الجزئية مع القوة الثالثة وهى AD فيحدث من
المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو $AEDF$ ويكون AF
الذي هو وتره هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة AD و AE
الا ان التأثير الحادث من AE يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي AB

و ا ث فاذن يكون التأثير الحادث من قوة ا ف مكافئاً للتأثير الكلى الحادث من قوى ا ب و ا ث و ا د الثلاثة

ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان كقوتى ا ب و ا ث (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم كجسم ا

فان اثرت فيه القوة الاولى وهى ا ب وحدها في زمن معلوم فانها تنقله من ا الى ب وان اثرت بعدها القوة الثانية وهى ا ث وحدها فانها تنقله ايضا من ب الى ه بالتوازي لقوة ا ث بحيث يكون ب ه = ا ث ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة ا د وحدها فانها تنقله

من ه الى ف بالتوازي لقوة ا د بحيث يكون ه ف = ا د

وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى ف بالتأثير المتوالى الحادث من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التى كان يصل اليها لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله

وهذه الكيفية لانغابر الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة في الصعوبة وذلك لانه ينقص فيها الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هناك عددا من القوى كقوى وا و وب و وث الخ (شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم

الى مسافة ابعد من المسافة التى نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثرت فيه القوى كل واحدة على حدها مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى

في الزمن المذكور وحينئذ تمد بالتوالى مستقييات ا ر و ر ث و ث د الخ موازية ومساوية في الطول لمستقييات وب و وث و ود الخ

ثم نصل نقطة و الاولى بنقطة ه الاخيرة من هذه الاضلاع المتسلسلة فيكون مستقيم وه دال على محصلة جميع المركبات الميمنة بمستقييات

وا و وب و وث و ود الخ

فاذا غلقنا حينئذ بمستقيم وه كثير الاضلاع وهو وا ر ث د ... ه و

كان هذا المستقيم دالا على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع دالا على قوة مركبة

فاذا عكست محصلة $\overline{وه}$ الى $\overline{وه}$ فان هذه القوة المحصلة المضادة للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية اللطيفة المنسوبة الى المهندس $\overline{لينتز}$ وهي اذا كان هناك قوى بقدر ما يراد واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مبنية مقدارا واتجاها في سمت ستابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير أنه يكون تاما ومغلوفا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو $\overline{من ح خ ر ض}$ (شكل ١٧) زاوية

داخله $\overline{ز زاوية خ}$ وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم $\overline{خ ر}$ يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع $\overline{خ ر}$ لتكون القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالجمله فكل ضلع من كثير الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهاها

وفائدة الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا في كثير من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى $\overline{وا}$ و $\overline{وب}$ و $\overline{وث}$ و $\overline{ود}$ الخ (شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع $\overline{==}$ كثير الاضلاع

وهو $\overline{وا رش الخ}$ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل لنظيره في مستو واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي $\overline{وه}$ مبنية مقدارا واتجاها بمستقيم $\overline{وه}$ الممتد من نقطة $\overline{و}$ التي هي مبدأ كثير الاضلاع وهو $\overline{وا رش الخ}$ الى نقطة $\overline{ه}$ التي ينتهي فيها آخر الاضلاع الدالة على القوى المركبة

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو $\overline{واش د الخ}$ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها

وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم $\overline{من}$ (شكل ١٨) الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ يكفي أن تنزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ $\overline{م د}$ و $\overline{م ح}$ المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا $\overline{م م}$ الى $\overline{ا}$ و $\overline{م م}$ الى $\overline{ب}$ فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو $\overline{م ا ن ب}$ الذي يمكن اعتبار $\overline{م ن}$ فيه كقوة محصلة مركبتها $\overline{م ب}$ بمستقيمي $\overline{م ب} = \overline{م د}$ و $\overline{م ا} = \overline{م ح}$ حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وما ذكرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هنالك عددا من القوى مثل $\overline{م ن}$ و $\overline{ن ح الخ}$ (شكل ١٨) فانه يكفي أن نأخذ مساقطها على محوري $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على $\overline{وس}$ بقوى $\overline{م د}$ و $\overline{ح د}$ و $\overline{ح خ الخ}$ ومن جهة اخرى على $\overline{وص}$ بقوى $\overline{م ح}$ و $\overline{د ح}$ و $\overline{خ ح الخ}$ فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حينئذ يكون مستقيم

مخ الغالق لكثير الاضلاع وهو من ح خ دالا على محصلة قوى

من و ن ح و ح خ ويكون مسقطاها وهما مغ و مخ هما مجموع المساقط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م و د ح و د غ الخ و م و د ح و د غ الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها تكون اولا متجهة على هذا المستقيم وثانياً تكون مساوية لمجموع سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها ولاشئ امهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) جملة من القوى مبينة بمستقيمات من

و ن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور وس في م و د ح و د غ الخ فان قوى مغ و رضه يكون دفعهما الى جهة مضادة لجهة م و د ح و د غ الخ وعلى ذلك تكون المحصلة مساوية $\overline{م} + \overline{د ح} + \overline{د غ} - \overline{مغ} - \overline{رضه}$ ومن البديهي ان $\overline{م} + \overline{د ح} - \overline{مغ}$ هو مخ وان $\overline{د غ} - \overline{رضه}$ هو د غ رضه فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية مغ + د غ رضه

اعني م رضه وهذا الجزء المحورى هو مسقط م ص الذى يغلق كثير الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة من

و ن ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى من و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨) في مستوى محورى وس و وص فان التحركات الحادثة من نقطة م على محورى المسقط تكون دالة دلالة تامة على التحركات الحادثة من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى من و ن ح

و ح خ غ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلا مستويا رأسيا ومستويين افقيين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا انزلنا على المحاور باعمدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية

وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحينئذ اذا مددنا وتر $\overline{أغ}$ (شكل ١٩) من زاوية $\overline{أ}$ الى زاوية $\overline{غ}$ المقابلة لها فمن البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$

$= \overline{ب ه}$ و $\overline{أ د} = \overline{ه غ}$ الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع

$\overline{أ ب ه غ أ}$ مغلقا من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان $\overline{أ غ}$ الذي هو

ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدارا واتجاها على قوة $\overline{أ غ}$ المتوازنة مع القوى الثلاثة المبينة على وجه التناظر مقدارا واتجاها بمستقيمت

$\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ث}$ و $\overline{أ د}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة $\overline{أ غ}$ مثلا تكفي في نقل نقطة $\overline{أ}$ الى نقطة $\overline{غ}$ في زمن معلوم فان قوة $\overline{أ ب}$ تنقل في زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من $\overline{أ}$ الى $\overline{ب}$ ثم تنقل كذلك قوة $\overline{أ ث}$ في زمن مساو له نقطة $\overline{أ}$ من $\overline{ب}$ الى $\overline{د}$ وكذلك قوة $\overline{أ د}$ تنقل في زمن مساو له ايضا

نقطة ١ من ه الى غ

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميينة بمستقييات \overline{AB} و \overline{AC} و \overline{AD} مؤثرة معا فانها تنقل ١ الى غ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من هذه القوى مؤثرة على حديتها بالتوالي او الذي تكون فيه محصلة \overline{AG} مؤثرة دون غيرها

ولنبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقييات \overline{AB} و \overline{AC} و \overline{AD} فان اجزاء \overline{AB} و \overline{AC} و \overline{AD} تكون بالضبط على هذه

المحاور مساقط لوتر \overline{AG} الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة ثم ان هذه الطريقة التي سلكناها وان كانت مطولة الا انه لا بد منها حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى وبها بها انما هي من قبيل المبادئ

واذا حللنا كلا من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين موازيين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز ثقل الجسم فانها تسلك ادسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون دوران كما لو كانت محمولة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها المشترك بينهم

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحزّل فنفرض أن قوة \overline{AS} لا تكون مارة بمركز الثقل وهو \overline{G} (شكل ٢٠) فنحيث أن \overline{GA} عمود ممتد من نقطة \overline{G} الى \overline{AS} الذي هو اتجاه تلك القوة فان تحزّل الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة كقوة \overline{GS} موازية ومساوية لقوة \overline{AS} وقوتان كقوتى \overline{AS} و \overline{AS} الموازيان لقوة \overline{GS} المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة منهما لنصف \overline{GS} والموضوعتان على وجه بحيث تكون $\overline{GA} = \overline{GA}$ لان قوة \overline{GS} متوازنة مع \overline{AS} و \overline{AS} غير أن قوة \overline{AS} لما كانت نصف قوة \overline{AS} وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت نصف \overline{AS} وبناء على ذلك يكون الجسم متحزلاً بثلاث قوى احداها قوة \overline{GS} المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة \overline{AS} والثانية نصف \overline{AS} المؤثرة في جهة \overline{AS} والثالثة \overline{AS} المساوية لنصف \overline{AS} والمتجهة الى جهة مضادة لها وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى \overline{AS} و \overline{AS} بعيدتين بالسوية عن مركز الثقل وهو \overline{G} كانتا مؤثرتين تأثيراً به يدور مركز الثقل المذكور بدون أن يسير الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى فعلى ذلك أولاً لاية تقدم مركز الثقل ولايتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى \overline{AS} و \overline{AS} وثانياً يكون هذا المركز منقولا بتأثير قوة \overline{GS} على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة \overline{AS} وموازية لها وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة تما وحللتنا أولاً

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عينا ثانيا المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل ثقلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كمالو كانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحركات الداخلية الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي تحتة كبيرة يلعب عليها بكر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحرك الحادث للجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير اولاً الى الامام بالسرعة التي كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانياً يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتته فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطيء كمالو كان ذيله مؤثرا بالتوازي للبليارد وحينئذ يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة تمامها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتوالية وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائماً كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصا لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كمالو كان منتقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار يوجد في تحرك كل المدافع
والقنابر ويحصل منها فوائد عظيمة جداً معرفتها من اهم الاشياء في فن الحرب
وهي الغرض الاصلى من فن الطوبجية

(الدرس السادس)

في بيان الالات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد خيول العربات
وادوات السفن ولوازمها وما اشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الاجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل اى قوة من
القوى بان يغير اتجاهها او سرعتها او المسافة الافقية التى يقطعها الجسم
في زمن معلوم

والالات البسيطة سبع ومنها تألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والملفاف (اى المنجنيق) والمستوى المائل
والبريمة والخابور وسنمين كلامها تفصيلا على حسب ما تقتضيه اهمية
موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

(بيان الحبال)

قد فرض المهندسون اقولا لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة
لنقل القوى انها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظروا لما يلزم
اعتباره فيها من شديها كثيرا او قليلا ومدتها وتناقلها فبحثوا (بالنظر
والتجربة) عن التغيرات التى يمكن عروضا للحواصل الاصلية بخواص
المادة التى تتركب منها الحبال المذكورة

ثم ان تحويل المسائل الصعبة الى اصولها السهلة ليس الا كيفية عقلية بها
يتقوى الفهم السقيم وتسهل وسائط العمل فلذا آتيناها فى البحث عن خواص
الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنفرض اذن حبل على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردة عن التناقل
ثم نبدا بايقاع قوة واحدة على كل من طرفى هذا الحبل ونفرض ان هاتين

القوتين الشادتين للجبـل في جهتين متقابلتين متساويتان فبتأثيرهما يكون
الجبـل مشدودا شد امستقيما وطرفاه على اعظم بعد يمكن فعلى ذلك تكون القوتان
المذكورتان متوازنتين اذ لا داعى لكون الجبـل المشدود من طرفيه يتقدم
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا كان هناك قوة ثالثة شادة للجبـل في جهة احدى القوتين الاوليين
فان هاتين القوتين يعدمان بعضهما ويكون تحرك الجبـل من جهة القوة الثالثة
فقط كما لو كانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلوا وهذا التحرك الحادث على اتجاه
الجبـل لا يمنع من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الجبـل مشدودا
الا بالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازنتان فلا يتحصل منهما الا هذا
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للجبـل

ونتيجة ذلك تكون واحدة مهما كان طول الجبـل ويؤخذ من ذلك ان الشد
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الجبـل التي هي **ث** و **آ** الخ
و بالجملة فلاجل معرفة شد الجبـل من نقطة منه كنقطة **ث** (شكل ١)
نفرض ايقاع قوتي **آس** و **بص** على تلك النقطة وكذلك لاجل
معرفة شده من نقطة **آ** نفرض ايقاع قوتي **آس** و **اص** عليها
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شد الجبـل من نقطة **ث** مثلا يكون (كما تقدم قريبا)
واحدا كما في طرف **آ** فاذن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الجبـل
ولنفرض الآن انه يكون للجبـل في جميع طوله قوة ثابتة ما عدا نقطة واحدة
تكون اضعف من غيرها فبازياد القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة)
قليل لاجل نقص الجبـل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط
الاخرى فاذن يحصل نقص الجبـل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما

وهذه الكيفية هي التي تستعمل في الفنون مع الضبط لقياس قوة الجبال فاذا اريد
استعمال الجبال في تثبيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على امساكها وفي تعليمها

فلا بد من تحقق أن هذه الحبال تتحمل ما يعرض لها من الجهود العظيمة بدون نقص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الحبال والقطن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنسية لانه اذا نظرت في كل كبلية من السلسلة الى رداءة الحديد المتخذة منه او رداءة صناعته يكفي ادنى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكبلات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول وشدناهما شدا متساويا فان القصير منهما يكون قابلا لتحمل جهد عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلا من الطرفين يقع عليه قوى متعددة بدلا عن القوة الواحدة

فلتكن A و A' و A'' الخ (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الحبل من احد طرفيه و B و B' و B'' الخ هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى A و A' و A'' الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك نبذل قوى B و B' و B'' الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فنرسم كثيرا اضلاع تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع آخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الثانية ويكون مستقيما AS و BS الغالقان لكثيرى الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاء حبل AB وأن يكونا متساويتين

فاذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون
السرعة على نسبة منعكسة لجسم الحبل الممدد للتحرك وهكذا (كما تقدم
في الدرس الثاني)

*) (تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس) *

النواقيس التي تضرب في الكأس مشدودة بحبل أ ب الرأسى
(شكل ٣) فاذا كان الناقوس ضخما بحيث لا يمكن لشخصين او ثلاثة
ضربهم مع السهولة يشدهم جميعا للحبل المذكور فانه يربط في الطرف الاسفل

من حبل أ ب الاصلى جبال صغيرة كجبال أ س و أ س و أ س الخ
ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك
الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ س س الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ س و س س و س س الخ
مقدارا واتجاهها على قوى أ س و أ س و أ س الخ

وبما مستقيم أ س بين نقطة أ ونهاية الضلع الاخير يغلق كثير الاضلاع
للقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم أ س الى المحصلة وبالجمله فيلزم في الصورة
التي نحن بصدد ها أن تكون هذه المحصلة في اتجاه حبل أ ب الرأسى

ويقف عادة ضاربو الناقوس المنتقاربون في القوة على شكل دائرة فيكونون
على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى
لحبل أ ب وبهذا الوجه تمر محصلة قواهم ضرورية بمستقيم أ ب

*) (بيان الكبش (اى الشامردان) وهو الآلة المعدة لدق الخواير) *

ما ذكرناه في صورة ضرب النواقيس مجرى ايضا فيما اذا اريد أن يشد بجبال
صغيرة الحبل الاصلى الذي يحركه الكبش المستعمل لدق الخواير وقد غلب
على هذه الآلة اسم الآلة الضرب لانها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولاجل
الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تكلم الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها فقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن اس و بص (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان على ا و ب اللذين هما طرفا حبل ا ب و شز هي القوة الواقعة على نقطة ث المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة عند نقل بص الى ث و اس الى ث فيكون شز الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي ث و ث

و ث مساويا ومقابلا لقوة شز على وجه الصحة والضبط ولنفرض أن قوة اس (شكل ٥) الميمنة بمستقيم ث و قوة بص الميمنة ايضا بمستقيم ث يكونان متساويتين

فاذن يكون متوازي الاضلاع وهو ث و ث شكلا معيننا وتكون زاويتا ث و ث متساويتين بمعنى أن مستقيمي

ث و ث يحدد عنهما مع اتجاه محصلة شز زاوية واحدة

ولكن تكون قوة شز قريبة او بعيدة عن ث اكثر من ث على حسب كبر ث او صغره عن ث وذلك متعلق بصورة مثلثي ث و ث المتساويين

فاذا كان هنالك اربع قوى كقوى اس و بص و اس و بص (شكل ٦) واقعة على نقطتي ث و ث يلزم أن يكون التوازن حاصلًا حول كل من النقطتين المذكورتين وهلم جرا

فاذا كان حول نقطة ث مثلاً قوتا اس و بص اللتان يلزم

أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد $\overline{ثث}$ ودالة على الشد الكلى
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل $\overline{ثث}$ الصغير فبرسم متوازي
 الاضلاع وهو $\overline{ثصز}$ الذي فيه $\overline{ثص} = \overline{أس}$ و $\overline{ثص}$
 $= \overline{بص}$ يحدث أن $\overline{شز}$ يساوي شد حبل $\overline{بث}$
 وكذلك نقطة $\overline{ث}$ فانه اذا رسم متوازي اضلاع $\overline{ثصز}$
 الذي فيه ضلع $\overline{ثص} = \overline{أس}$ و $\overline{ثص} = \overline{بص}$
 يحدث أن $\overline{شز}$ يساوي شد الحبل ولاجل توازن $\overline{ثث}$ يلزم
 أن يكون شدا $\overline{شز}$ و $\overline{شز}$ المتضادان متساويين

ولنبه هنا على ان تعيين شدود $\overline{اث}$ و $\overline{ثث}$ و $\overline{ثأ}$ الخ المتنوعة
 لاعلاقة له بطول اجزاء $\overline{اب}$ و $\overline{بث}$ و $\overline{شد}$ الخ وانه عند
 زيادة هذا الطول او نقصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن
 أن يفرض انعدام واحد منها او اكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء
 على ذلك اذا كان هناك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد
 فبايقا عليها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها
 مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصها من الحبل الماذكور تكون متوازنة

فاذا كان هناك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع
 الذى تكون هذه النقطة رأسه

وتم امثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علمنا انقالا
 فى حبل لا يكون طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القناطر المعقدة التى
 ستكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال اخر فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الجبالية وفي شأن فائدة تقويتها

ولتكن $\overline{اصه}$ و $\overline{بز}$ و $\overline{شن}$ و $\overline{دوق}$ (شكل ٧) قوى
 رأسية فتكون محصلتها وهي $\overline{رر}$ رأسية ايضا ومساوية لمجموعها
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الجبالي يلزم
 أن قوة $\overline{رر}$ الدالة على مجموع قوى $\overline{اصه}$ و $\overline{بز}$ و $\overline{شن}$ و $\overline{دوق}$
 توازن شد طرفي الجبل اللذين هما $\overline{ا}$ و $\overline{د}$ وذلك يقتضي أولا أن
 اتجاهي قوتي $\overline{اسه}$ و $\overline{دع}$ المتطرفين يتقاطعان في نقطة $\overline{و}$ على $\overline{رر}$
 التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا $\overline{وسه} = \overline{اسه}$
 و $\overline{وع} = \overline{دع}$ على مستقيمي $\overline{واسه}$ و $\overline{ودع}$ فان وتر متوازي
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا $\overline{رر}$ مساواة صحيحة
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء جبل $\overline{ابشد}$ المتنوعة فانه يسهل
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موازية مثل $\overline{اسه}$ و $\overline{بز}$ الخ كوتر
 متوازي الاضلاع الذي ضلعاها ممثدان وهما $\overline{اسه}$ و $\overline{اب}$ او $\overline{اب}$
 و $\overline{بث}$ او $\overline{بث}$ و $\overline{شد}$ الخ فتكون اضلاع هذا الشكل
 دالة على شدود الجبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفي كل جبل صغير
 كجبال $\overline{اب}$ و $\overline{بث}$ و $\overline{شد}$ فاذا كان التوازن باقيا على حاله
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل جبل صغير لان الجبل
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان
 غير متساويتين

ولتكلم هنا على تناقل الجبال مبتدين بالجبل المثبت من طرفيه والمحلى ونفسه
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الجبل مركب من عدد غير محدود من المستقيمات الصغيرة

المتساوية المائلة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها المنحنى الذي يتبعه الجبل
المذكور ليكون بذلك متوازنا وساكنًا فاذا اعتبرنا جبلين اى ضلعين من هذه
الاضلاع الصغيرة المتوالية كضلعى أ ب و ب ث (شكل ٨) كانت
محصلة ثقل كل منهما قوة مارة بمتصفهما وهما م و ن فيحدث
حيثخذ عدة قوى ك كوى م م و ن ن و وز متوازية
ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون نقط وقوعها وهى م و ن
و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاها رأسيا
ولتكن ر ر رمزا الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف
و غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الجبالى يتقاطعان
بواسطة امتدادهما على محصلة ر ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع مماسا منحنى ف ا ب . . . غ فى نقطتى ف
و غ دائما على اتجاه محصلة ثقل الجبل المنحى ونفسه معلقا وهى محصلة
مارة بمركز ثقل الجبل المذكور

(وتستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية
تتعلق بالمنحنى الحادث من الجبل المنحى ونفسه لتشاقله الا انه ليس فى القواعد
المستعملة ما يكتفى فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يتعين
بها صورة ذلك المنحنى بكيفية صحيحة واما ارباب الفنون فيمكنهم أن يحسبوا
هذا المنحنى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل
على وجه سهل الى تحصيل الحواصل التى لا يمكن أن يتوصل اليها
بعلم التحليلات)

وقد يكون المنحنى الحادث من الجبل المنثنى بواسطة تشاقله باقيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المخنى جبلا لنا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت او صغيرة من كبة من كبات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المخنى الذى تتبعه تلك السلسلة او حبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخلى وقسفه لتأثير التناقل ويكثر استعمال هذه السلسلة فى فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون المستظرفة

وتكون القن او السلاسل المشار اليها برمز \overline{AB} (شكل ١٤) التى بها تتوازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة الانحناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القليل حبال السحب اى اللبانات التى يشدها الرجال او الخيول بواسطة حبال صغيرة مربوطة فى نقاط مختلفة من الحبال الاصلية ثم ان شد الحبال الكبيرة والصغيرة والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد المذكورة فى هذا الدرس ولنزد استعمال تلك السلاسل نوع ايضا فيما يتعلق بادوات السفن فنقول

يلزم أن ننسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الحبالى توازن الحواشات وهى الحبال الممدودة من احدى شاطئى الانهر الى الشاطئ الآخر وهى مربوطة فى نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من تحت السفينة ذات الصارى ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف الاعلى من الحبل الذى يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الحبل ايا ما كان وضعه يقع عليه شدة ناشئ عن التأثير الحادث فى السفينة من التيار وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزئى الحواش الموضوعين على يمين الحبل الممسك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الحبل او الخواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الحبالى المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والحبال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير أنه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة القوائد فنقول

اذا كان $\overline{ا ب}$ اللذان هما طرفا سلسلة $\overline{ا هـ ث ب}$ (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة النخني متماثلة بالنسبة الى رأس $\overline{د هـ}$ الممتد من نقطة $\overline{د}$ التي هي منتصف $\overline{ا ب}$ وحينئذ فلا داعي لكون جزء الشمال وهو $\overline{ا هـ ث}$ يخالف في الصورة والمقدار جزء اليمين وهو

ب ف ث

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحرير والقياطين والاهدا ب والازهار المعلقة في نقط ليست على رأى واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناءات والاضلاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذى الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة

ولا بد للنقاشين والمصوريين من معرفة الانحناء الذى يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة $\overline{هـ}$ تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا $\overline{ا هـ}$ فان الجزء الباقي وهو $\overline{هـ ث ب}$ لا يكون خارجا عن التوازن

فاذا مددنا حينئذ مستقيم $\overline{هـ ف}$ الافقى واخذنا نقطة $\overline{ف}$ عوضا عن نقطة $\overline{ب}$ وجعلناها نقطة ثانية ثابتة فان جزء $\overline{هـ ث}$ يكون متماثلا

مع **ب ف ث**

فإذا لم يكن طرفا السلسلة (التي هي على صورة المنحنى) وهما $\overline{ه}$ و $\overline{ب}$ موضوعين في ارتفاع واحد فانا اذا مددنا من طرف $\overline{ه}$ الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط $\overline{هف}$ الافقي كان جزء السلسلة وهو $\overline{هثف}$ الموضوع تحت الافقي المذكور متماثلا بالنسبة لعمود $\overline{شغ}$ النازل من نقطة $\overline{غ}$ التي هي منتصف $\overline{هف}$ وكانت نقطة $\overline{ث}$ منخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى $\overline{هثف}$ متماثل بالنسبة لرأس $\overline{شغ}$ فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولتد مستقيمي $\overline{هو}$ و $\overline{فو}$ مماسين للمنحنى المذكور في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ ثم نأخذ جزء $\overline{ور}$ الرأس وتجميعه دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو $\overline{ورر}$ دال على الشدود الحاصلة للجبيل في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$ التي هي اخفض نقط المنحنى فاذا مددنا $\overline{شو}$ و $\overline{وب}$ (شكل ١٠) مماسين للمنحنى في نقطتي $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ فان مركز ثقل منحنى $\overline{ثب}$ يكون على رأسي $\overline{وغ}$ المار بنقطة $\overline{و}$ واذا رسمنا على $\overline{وغ}$ و $\overline{وث}$ و $\overline{وب}$

الممتدة متوازي الاضلاع وهو $\overline{وحخض}$ فتد $\overline{وح}$ على ثقل قوس $\overline{ثب}$ كان $\overline{وض}$ دالا على الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$

وخط $\overline{وخ}$ دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة $\overline{ب}$ لكن يرى في متوازي الاضلاع المذكور أن $\overline{حخ} = \overline{وض}$ وحيث ان

$\overline{وحض}$ مثلث قائم الزاوية فان $\overline{وخ}$ يكون دائما اطول من $\overline{وض}$

بمعنى أن الشد الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائماً أقوى من الشد الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكما صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب وخ مع الخط الرأسي زاوية حادة جداً وبقي طول وض على حاله وازداد طول وح كثقل المنحنى واخذ ضلع وخ في الازدياد فعلى ذلك يكون شد المنحنى عظيماً جداً في نقطة الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حينئذ أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فإن أول ما يحصل الانقطاع يكون في النقطة الأكثر ارتفاعاً من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم في هذه النقطة لمكانت مقاومته في النقطة المتوسطة بالطريق الأولى

فاذا امتد في مثلث ح وض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع وح الذي هو ضلع زاوية و القائمة وبقي الضلع الآخر هو وض على حاله فان الضلع الاكبر هو ح ض يترب شيئاً فشيئاً من مساواة ح و

ونفرض الان أن الشكل الذي يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مقداراً وينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتاً لا يتغير اصلاً وان صورة المنحنى بهذا السبب لا تتغير ايضاً

وذلك لانه في المنحنى الجدي اذا كانت نقطة م مثلاً في وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الأول حدث من مماس م و مع رأسي د ثو الزاوية التي تحدث من مماس م و مع رأسي د ثو وحيث ان طول المنحنيين مناسب لبعضى ب د و س د فان نسبة ثقل منحنى وح الى ثقل منحنى وح تكون مساوية لنسبة شد وخ الى شد وخ الحاصلين المنحنيين في نقطتي م و م

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع نقل الحبل ويكون وضعهما في هذه الحالة متشابه للوضعهما في الحالة الاولى فيكونان متوازنين عند تأثيرهما في منحني صورته واحدة
ولندكر قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمنحنين المتشابهين في نقطتين متشابهتي الوضع تكون نسبتها كنسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين في هذين المنحنين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين منحنين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من الاخر مرتين واقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واقل منه ثلاث مرات او اصغر منه اربع مرات واقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل لهذين المنحنين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الان بين الشدين الحاصلين لمنحنين غير متشابهين فلا نفرض الامنحيات قليلا الانحناء جدا لاجل الاختصار في البحث والاقتصار في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في الفنون ونعتبر ان هذه المنحنيات لها ثقل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد من بعضها

وصى كان لمنحنى $\overline{أب}$ مثلاً (شكل ١٣) انحناء قليل جدا امكن بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز ثقل كل جزء كجزء $\overline{أب}$ من هذا المنحنى يكون موجودا على رأسي $\overline{هـ}$ الموضوع على بعد واحد من طرفي $\overline{أب}$

و $\overline{ب}$ فاذا انحنى من نقطة $\overline{غ}$ التي هي المركز المذكور رأسي $\overline{هـ}$ $\overline{غ}$ الى مستقيم $\overline{أب}$ حدث معنا $\overline{دف} = \overline{فب}$ واذا انزلنا من نقطة $\overline{ب}$ عمود $\overline{بـ}$ على $\overline{شـ}$ الممتد حدث معنا ان $\overline{شـ} = \overline{هـ}$

ولنجعل الان نقطتين في المنحنى كنقطتي $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ ثابتتين ونمدهما الى $\overline{شـ}$ و $\overline{هـ}$ المتطرفين فيكونان ضلعين متوازيين الاضلاع وهو

ش هـ ف الذي وزه هـ ف ويكون هذا الورد الا على نقل قوس
 ش ب وضلعاه وهما هـ ب و هـ ث دالين على الشدين الحاصلين
 للجبل في نقطتي ب و ش

فاذا كان سهم ش د صغيرا جدا بالنسبة لطول آ ب فلا فرق بين
 ش ب و هـ ب وبين ف ب و ش هـ فاذن يكون ش د الحبل
 او السلسلة الحادث عنها المنحنى واحدا تقريبا في سائر امتداده غير أنه لاجل ابقاء
 الشد على حالة واحدة في جميع نقطه يلزم أن يكون سهم ش د معدوما

فاذا اعتبرنا الا ن أن ثقل المنحنى ثابت ومدلول عليه بخط ور فان الشد
 الحاصل للجبل في نقطة ب يكون مدلولاً عليه بخط ور فتمت لاجل

ذلك خر اقبيا الى ور الممتد الذي هو امتداد مماس به

ولكن يوجد معنا مثلثا به هـ و ور المتشابهان اللذان يوجد

فيهما به : به :: ور : ور فاذن يكون

$$\text{ور} = \frac{\text{به} \times \text{به}}{\text{به}}$$

وحيان به به يساوي ش د و به يختلف قليلا

عن ١ بد فانه اذا كان به به = ش د صغيرا جدا
 حدث على وجه تقريبي

$$\text{ور} = \frac{\text{بد} \times \text{ش د}}{\text{ش د}}$$

فاذا لم يتغير حينئذ بعد طرفي آ و ب ونقل الحبل الذي يدل عليه ور

نان ش د ور يصير على نسبة منعكسة من سهم ش د فاذن يلزم أن يكون

ش د ور الحاصل في نقطة ب او في نقطة ا عظيم جدا ليكون ش د

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هنالك حبل مشدود شدا
اقل من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون
ممدودا بالضبط مدامستقيما
وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول
اذا كان هنالك حبل خفيف جدا وليس هنالك ما يعارضه واريده شدا قويا
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شده من النقطة التي
يكون فيها مستقيما بالكلية

(بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن)

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحني لا يخلو عن فائدة عظيمة
وبه تظهر الجهود التي تحملها الحبال في كثير من الصور المهمة والمراد
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرباتها
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غس الزاسية (شكل ١٥)
ممسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحي و يجرها الاعلى عقدة جارية
مصنوعة من حبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذي يستند
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من
السفينة وسمى ارتفاع المؤخر وانخفاض المقدم عند الاضطراب والتحرل فان الميدة
تكون مقاومة وتمنع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف
وتستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من
المجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال مثنائية من منتصفها
ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فيسكون
من طرفي كل حبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلذا تراهم
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة مع الرأس الصارى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها انحنىات والمنحنىات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الحبال تقرب من الاتجاه الراسى قريبا كافيا بخلاف المنحنىات الحادثة عن الميدات والجوارع عيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسى المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلمية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحبلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام نقص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة نقص انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التى تقابلها

وقد يكون اعتبار اطوال التى تقبلها المنحنىات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بقتضى المادّة التى تتركب منها هذه الحبال او بقتضى جنس المنحنىات الحادثة عنها مهما جددت ادوات السفن وفق الملاحظة

ويمكن أن نستعمل عوضا عن الحبال المتحددة السمك في جميع طولها الحبال التى ينقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لهما في نقطتهما المنخفضة الا القوة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعى الذى يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الحبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهذا ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكفى في بيان الكيفية التى بها يتيسر في كل وقت حساب شد الحبال واتجاهها الانفع

(بيان القناطر المعلقة)

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها فنقول
 لنفرض أن حبلا أو سلسلة يمد بين نقطتي أ و ب وأن حبلا أو سلاسل
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل م و د و و و ح الخ
 تربط في هذا الحبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع
 حبلان متساويان مثل حبل أم و ع ب بجانب بعضهما
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض افقية أطراف تلك الحبال
 الحفاظية الموضوعة بمحذاء بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل حبل
 مثل أم و ب يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال
 الحبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الحبال فإنه يزداد كلما قربنا من طرفي
 الحبل

وحيث أن ثقل الحبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع
 أن الحبل الثقيل يحمل انقلا متساوية في مسافات افقية متساوية وحينئذ
 يكون المنحنى الحادث من الحبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مركز ثقل حبل أم و ب
 ونقطة ط التي يتقاطع فيها مماس ذلك الحبل لانه في القطع المكافئ الذي

$$\text{سهمه} \text{ — } \text{م} \text{ يكون } \text{—} \text{م} = \text{م} \text{ ط}$$

فإذا رسمنا متوازي اضلاع مثل ط أم — على ا ط و ب ط اللذين هما
 مماسا سلسلة التعليق المعتبرة كقطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة
 ثقل السلسلة الى السنت الحاصل لها في نقطة ط تكون كنسبة م ط

الى $\overline{ا ط}$ فاذا مددنا $\overline{ا ب}$ موازيا الى $\overline{ا ب}$ حدث هذا التناسب وهو
 $\overline{م ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ر ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ء م} : \overline{ا ط} :: \overline{م م} : \overline{ا ط}$
 وبالجمله ففى كان سهم $\overline{م م}$ صغيرا بالنسبة لطول $\overline{ا م}$ امكن
 أن نعتبر أن $\overline{ر ط}$ و $\overline{ا ب}$ متساويان فاذن تكون فى هذه الحالة نسبة
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها فى نقطة $\overline{ا م}$ كنسبة سهم السلسلة
 ثمانى مرآت الى بعد $\overline{ا ب}$ الحاصل بين $\overline{ا م}$ و $\overline{ب م}$ اللتين هما نقطتا
 الارتكاز

وينبغى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبييا ومتى تعذر اختلاط
 طولى $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا م}$ ببعضهما بدون خطاين لزم اخذ نسبة $\overline{ا ط}$
 : $\overline{ء م}$ عوضا عن $\overline{ا ب} : \overline{م م}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم ثقل سطح القنطرة
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسبا لعدد
 الكيلوغرامات الذى يوجد فى خارج هذه القسمة
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسون
 القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفرية (اى القليلة
 المصاريف) المعدة لعبور الامطار والسيول والمجارى الصغيرة ومشى الناس
 وسير النقالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا وصلة بين عمارتى معمل كبير
 واحد فانها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

و يستعمل فى هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون
 هذه السلوك مجموعة على صورة خرزمة يحيط بها سلك على هيئة برتمة حلزونية
 كالانوار المعدنية التى فى آلات المويستى (واقل قوة تفرض للسلاك هو أن يحمل
 ٤٠ كيلوغراما فى كل مليةتر مربع من القطاع بدون أن ينقطع فلا يحمل
 فى كل مليةتر الا ٢٠ كيلوغراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة
 كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طوامة

كافية في تمام القنطرة وفي هذه العمارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس سغوين دنوناى وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة فرانسا بسلول من حديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثيرا الجدى وهوانه صنع في معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقرىبا وعرضها ستة دسجيرات ولم تبلغ مصاريقها الا خمسين فرنكا والى كتابا في المبادئ كثير الفائدة لمن اطلع عليه ممن يرغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دوفور التى تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب للمهندس ناوييه احدا اعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذى تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة فى انكلترة والقبائل الفرنسية وذكروا فيه مستوياتها

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل تكلم الآن على الجبال التى تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تحرك كل قوة الى جهة اتجاهاه الحقيقى وبقدر ما يأخذه ذلك الجبل من الوضع الذى يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن فى ذلك الا فى الوضع الحقيقى الذى يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حينما اتفق من نقط تماس الجبل بالسطح فيكون حينئذ للخطوط القصيرة التى يمسكون رسمها على السطوح ارتباط ضرورى بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والمشدودة من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه المنحنيات وهى الجبال المذكورة هى انه اذا رسمنا

من كل نقطة من نقطها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور مرسوما عليه وبناء على ذلك اذا دقت عقدة او تاد في نقط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح r مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستوي يمر بكل من تماس المنحنى والوتر العمودي على النقطة المعتبرة $ص$ كان المستوى الحادث من الاشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذي يظهر انه لا انحناء له اصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في اقصر منحن يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

واذا كان الحبل مشنبا على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل يتحرك في جهة كبراهما كأنه لم يكن هنالك الا قوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين

ويكثر في القنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صناع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحوا في المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه وانحناء اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتواليمة

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضممان الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة او غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالقوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة او مستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام من تقعا فانه يكاد أن يخفض واذا كان وضعه منخفضا فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خيوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقياطين المرسله من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعه على سطوح متنوعة او بخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسأأتى لك عند الكلام على تحرك البكرات أن الحبال تكون موضوعة في حلق دواليب البكرات المذكورة حسبا بقية تصميمه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جدا تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشطات والالجمة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعدة المقررة في شأن توازن الحبال المطبقة على السطوح

وها هنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولنفرض الآن انه يكون مشدودا زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين تشدان الحبل من طرفيه تكونان منقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومتناسبة معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كالمو كان الحبل لا ينسب لسطح ما من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبابية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية التي تكون فيها اجزاء الحبال منتبئية على سطح ما ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من الحبل اعنى على عيين القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون الشدود الحاصلة في كل جزء من الحبل بين قوتين متوسطتين متساوية ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال مجرد الرغبة اذ من البديهي ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة لما يبذل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجزر والاعتراض تلك العدد بالضرورة وصار الجزر دينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيك على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها لاسيما في الفنون الخريية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى وجعل صورتها موائمة لتطبيق قوة الخيول والانكايز والنسابة هم اول من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لاسيما في عدد خيول العربات المعتمدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصنائعية وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فاذا استعملنا عوضا عن الحبال المعتبرة كالمخطوط الهندسية حبالا حجمها معلوم ولها صورة خاصة كالقوايش والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون على السطوح التي تستند هي عليها والاعتراض عن اصلها وحينئذ تعتبر السيور والقوايش كالسطوح المنفردة المماسية لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جديرة بالاعتناء بها
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائشين
في ظهر جربندية العساكر اودلوى سقائى الافرنج وجعلهما مارين من
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاه اقصر خط
يمكن مده من نقطتي الارتباط ويكون مارا من تحت الابط وفوق الكتف
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بمجبل
افقى مارا بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشد
الحاصل للحبل المذكور والزاوية الحادثة منه ومن القائشين في نقطة وقوعه
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذى ينتهى فيه القائش
من كل من طرفيه بحمالة تمسك بأذن الدلو ولاجل منع الدلوين عن القرب
من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حينئذ تحصيل
الشد الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التى ينعدم بها الجهد الحاصل من الدلوين
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبارة مبنى على خواص توازن الحبال الممدودة
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كعرفة تطبيق الحبال وربما سترالة المدة
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور
النظريات

ومن الفنون المستظرفة التى تطبقها متنوعة وعملياتها بدیعة فن رسم
منحنیات على سطح الجسم الانسانى وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط
يمكن رسمها على هذين السطحين وتحقق هذا الوصف فيها يكون لها ارتباط
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة
وقد سبق انه يكون للحازون خاصية هندسية وهى انه يكون اقصر خط
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن
أن نثني حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تمام اتجاهاها بدون أن يتغير شيء من الانحناء الحاصل منها حول الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جداً من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة المعروفة بالمنجنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل أوتار الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وتر مركزي ينشون حوله على صورة حلزون سلكاً معدنياً فيكون شد هذا السلك واحداً في جميع نقط طوله متى كان بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرُّك الآلة واحداً في جميع أجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني

والشبكات متكوّنة من الخيوط المرتبطة مثنى بمثنى على نسق واحد وهناك شبكات الغرض من صنعها أن تنطبق على السطوح انطباقاً صحيحاً كالشبكة التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تنقلها تلك القباب ويمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالباً شبكات معدة لتغطية بعض أجزاء من سطح شعورهن وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصاية وهو المعروف بغطاء الالماس والشبكات * واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائماً لانثناء الاجسام البشرية وانحنائها اتم الملائمة

* (الدرس السابع) *

في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة للحبال والقضبان والمجالات والطيارات وفي مقادير الانحراف وفي البندولات

لنفرض ان قوة س تكون واقعة عمودياً على نقطة أ التي هي احد طرفي حبل أث غير القابل للمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر وهو ث مربوطاً في نقطة ثابتة واذا كانت قوة س المذكورة مؤثرة زمنياً بدون معارض فانها تسير

نقطة \overline{A} المادية الى الامام تسيريا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة \overline{B} الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة \overline{B} اكثر من البعد الاول وهو \overline{AB} فاذن يجذب هذا الحبل النقطة المادية ليجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة \overline{AS} الحبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة \overline{A} التي هي طرف هذا الحبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة \overline{S} العمودية على نصف

قطر \overline{AB} والموجهة على \overline{AS} الذي هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة \overline{A} المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة \overline{A} عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولذا ذكر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لنرسم شكلا متوازي الاضلاع مثل \overline{AMN} على ضلعي \overline{AN} و \overline{AM} المتساويين فيكون قطره وهو \overline{MN} دالا على ما يلزم بذلك من الجهد لاستبدال اتجاه \overline{AM} باتجاه \overline{AN} وانتقال الجسم من \overline{A} الى \overline{N} وهذا الجهد الممين بخط \overline{AM} هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر \overline{MN} كان مثلثا \overline{AMN} و \overline{ANM} متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي \overline{A} فاذن يحدث هذا تناسب وهو

$$\overline{MN} : \overline{AN} :: \overline{AN} : \overline{AM} = \frac{\overline{AN}^2}{\overline{MN}}$$

بمعنى ان \overline{AM} الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا $ان = نن = نن$ الخ
واوقعنا على $شن$ و $شن$ و $شن$ الخ قوة مركزية جديدة
مساوية دائما $ام$ قطع الجسم في ازمة متساوية مسافات $ان$
و $نن$ و $نن$ الخ فاذن يكون للجسم المذكور سرعة مماسة
ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع
دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدير المنتظم
وفي هذا التحرك تكون السرعة المماسية مساوية للقوس المقطوع مقسوما
على الزمن المعدل لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحينئذ تكون
الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسية مقسومة على
نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعدل لقطعه ويحدث من هذه الزاوية
المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المنزوية للجسم الدائر
حول المركز فاذن تكون $اولا$ السرعة المنزوية مع السرعة المماسية
على نسبة منعكسة من نصف القطر $وثانيا$ تكون كلتا السرعتين المماسية
والمنزوية مناسبتين لنصف القطر

ففي تغايرت انصاف الاقطار كان الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها على نسبة
منعكسة من السرعة المنزوية فيكون الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها مناسبا
لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسية

وهذه النتائج موضع في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة
ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز موطا بخيط او حبل او قضيب
كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة
المركز وكانت القوة المبعدة عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع
على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذي يدور بها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا يده على طرف عنان الفرس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة الفرس الذي يميل دائما الى الانقلاب من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها الفرس عنانه بمعنى انها تكون مساوية للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للفرس ومتى كانت سرعة الفرس مضاعفة مثني كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى مع ما يتعلق به من النسب يلازم تحجرا للمقالات الذي سنذكره قريبا

ثم ان الفرس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما اجزاء جسمه تدفعه دفعا اقويا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة تأثيرها يميل الفرس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع في العدو والجرى * ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم قطعه (شكل ٢)

واذا كان الفارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لثلا يسقط بتأثير القوة المبعدة عن المركز ويدل شكل ٢ على ما بين قوة التثاقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب ليحصل التوازن بين الفرس وراكبه

واذا سارت العرب ورسمت في سيرها قوس دائرة او سارت سيرا مستديرا

لحقها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق المنحدر الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة المبعدة عن المركز وقوة التثاقل ما يحدث عن الفرس (شكل ٢) عند دورانه

في طريق اب و هـ حول محور و و

ومتى كان طريق **م** اقريبا فلا شئ يتقص ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تقلب العربية

فاذا كان طريق **ن** منحدرًا بعيدًا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم في الانقلاب

وفي طرق **فرانسا** ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث يظهر منها الانحداران عظيمان جدًا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان في بعض الانعطافات فان العربية المتوجهة الى الانحدار الذي يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

ومما ينبغي نظمه في سلك القواعد المطردة التي يجب العمل بها هو انه في جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر متناقصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جدًا ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدًا كانت القوة المبعدة عن المركز كبيرة وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات وهذا هو الحامل لمهارة العربية والخيالة على كونهم لا يسوقون خيولهم سوقا حثيثا في الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران ولتنبيهنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التي تصنع بموجب قوانين التحرك

فإذا كانت العجلة (شكل ٣) سريعة الحركة في الرمل أو الطين فإنها ترفع معها شيئاً من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث أن ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب العجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعاً بالسرعة التي اكتسبها ويوضع أمام عجلات العربات المزينة لوح معدني عريض مستدير مثل **س س** يعرف بالمنايع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة المماسية

وإذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المماسية وقضبان من الحديد سائرة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائماً أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتحدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخلية قليلاً في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتحدفها في اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالجمله فيجمع مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب له قواعد تعلم من نسب القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسباتي

وإذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضرباً قوياً فان حركة الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما إذا كان الضرب ضعيفاً فانها تمحيد عن مماس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدوران مستديراً وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضاً المقلاع

وذلك ان المقلاع كان قبل اختراع السلحة النار من الآلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يؤتى بجبل خفيف كجبل **اثب** (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة **ث** يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما **أ** و **ب** الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم يتحرك تحرك دوران فاذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان
المقلع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لامتساك **جـ** دائما على بعد
واحد من مركز **أ** ومتى ارخى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية
لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الجبر لا يتحرك تحركا مستديرا
بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيره خطا مستقيما اذا حذف
رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم بجسم **أ**
لانه اذا لم نقطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا
واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور في دائرة محووفة فانه يتحرك على محيط
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تعين
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحووفة وهذه المقاومة العمودية
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة
مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على
الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة أولا
لجسم الرصاص المظروف فيها وثانيا لما للرصاص من القوة المبعدة عن
المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل
وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الظناير الدوارة المحتوية على الرصاص
المصقول او الاكرا الصغيرة المتخذة من النحاس الموضوع في البارود المراد
تحيينه واتما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم الجبور على أن يتحرك تحركا
منحنيا لان الحبل او القضيب او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة تحركا منحنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة فن ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبدء الامر قوة ط المماسية التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكاتسا على نسبة موافقة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيره دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرها دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعد عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعد عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتقصصها بحيث يؤول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها تفوق قليلا القوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حينئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس منحنيًا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي تتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التثاقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكلبة المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحني كمنحنى **ا ب ث** (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التثاقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجراو الكلبة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من اول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعاً مكافئاً
مثل **ا ب ث**

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمحنى وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها منحنى **ا هـ ف**
والغرض المهم من تجارب فن الطوبجية هو انه بحسب مجسمات ومجوم
الكل والجب والرصاص ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترمى بها
تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقطة التي يمكن وصول المرمى
اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولانذكر هنا من علم
الميكانيكا الا التطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص
فن الطوبجية

وقد ثبت الا ان عند الافرنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة
ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها
في طرف اربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فيدور ان هذه
الكرة ينقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق
مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً اربعمائة مرة

فاذن تكون كل نقطة من نقط الارض مدفوعة بقوة مماسة تكاد تنقلها
بعيداً عن الكرة المذكورة وبقوة مركبة تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة
المركبة هي المسماة جذب الارض وحيث ان تأثير القوة المماسية واحد تقريباً
في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتأثير
تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موارياً لخط الاستواء بحيث يكون
خط الاستواء والموازيات كلهاداً وأثرو لنقائيل بين تحركه نقطتي **هـ و ا**
الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو **هـ هـ هـ** والاخرى على مواز
اي كان كموازي **ا ا ا** وتمتد نصف قطر **و ص** ص قريباً جداً من قطر **هـ هـ هـ**

فاذا نزلنا بعمودي $\overline{س هـ}$ و $\overline{س ص}$ على $\overline{هـ و}$ كان نصف القطر
وهما $\overline{و هـ}$ و $\overline{و هـ}$ مناسبين بداهة لخطي $\overline{هـ س}$ و $\overline{س هـ}$ الدالين على
القوتين المبعدين عن المركز المنسوبين لنقطتي $\overline{هـ}$ و $\overline{أ}$ الماديتين
فاذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها المحور
عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الارض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما امكن في نقطتي $\overline{هـ}$ و $\overline{هـ}$
الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة ينعدم جزء من ثناقل الاجسام
ثم ان ثناقل الاجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما اذا كان
في نقطة ما من نقط الارض وسيأتى قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة.

ولنفرض ان برج $\overline{هـ ف}$ يكون مبني في نقطة $\overline{هـ}$ فاذا رسمنا من نقطة $\overline{و}$

التي هي المركز قوس $\overline{ف ص}$ ومددنا $\overline{ص س}$ عمودا على $\overline{و ف}$
حدث هذا التناسب وهو $\overline{و هـ} : \overline{و ف} :: \overline{هـ ص} : \overline{ف ص}$
وهذه هي نسبة القوى المماسية

فاذا وقعنا من $\overline{ف}$ التي هي رأس البرج جسما فان هذا الجسم يصل
الى اسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة $\overline{ص}$ ويكون مدفوعا بالقوة

المماسية التي تجبره على قطع $\overline{ف ص}$ فاذن يلزم ان هذا الجسم حين يكون
اسفل البرج في نقطة $\overline{ص}$ لا يقع في هذه النقطة فقط بل يقع ايضا في نقطة $\overline{ز}$

على بعد $\overline{هـ ز} = \overline{ف ص}$ ولنوضح ذلك بالارقام فنقول
ان نصف قطر الارض في خط الاستواء يساوي ٦٣٧٦٤٦٦ مترا
ولنفرض انه في احدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر
والمطلوب معرفة فاضل سرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين احدهما

في اسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالاخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا
والنسبة المنعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل
مشاهدته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك
٦٢٨ مترا وكسور فاذا كان هنالك جسم ثقيل وخلي لثقله الاصل في محل خال
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس ثوان بالابتداء من احدى نقط محيط
خط الاستواء وذلك يساوي $\frac{17280}{36}$ جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا
على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة
المشرق اكثر من قرب اسفله اليها مدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم
الثقيل لا يقع في اسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحول الى شرفيه بعد قدره

$$\frac{17280}{36} = 480 \text{ مليمترا تقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر
اكثر من خمس ثوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج
الى جهة شرفى اسفله بعد اكثر من ٣٦ مليمترا وقد دلت التجربة على ذلك
ومتى دار جسم صلب حول محورا حدثت جميع نقطه في زمن واحد ودورة
كاملة وكانت سرعتهم المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين
مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر
فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعنى حاصل ضرب الجسم في السرعة)
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعنى لمربع نصف القطر

وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها العجلات المحرقة المحتوية على

قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبين **ا ب** و **ا د**

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي يهايدفع القضبان المذكوران عندما يتمان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر العجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات العجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان $\overline{ا ب ث}$ اكبر من $\overline{ا ر ث}$ ثلاث مرّات واثقل منه ايضا ثلاث مرّات فتي اريد تدوير $\overline{ا ب ث}$ دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير $\overline{ا ر ث}$ لزم لذلك ضرب ثلاث مرّات في نفسها اي تسع مرّات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا $\overline{ا ر ث}$ اقل من الاول ثلاث مرّات بدون أن يكون كبيرا فانه يكفي أن نضع هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع $\overline{ا ب ث}$ لان هذه القوة اكبر منها تسع مرّات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادّة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الاثلاث حصر كمية عظيمة مهمامكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيرا فبهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوى التحركات ونشأ عنه اسراع او بطيء مضرّ فان العجلة المدفوعة بتحرك دوران ثابت ~~تكتسب~~ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيرا والذي اقول ان العجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنتظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٨) نحصر غالبا المادّة المطلوب توزيعها على قضيب $\overline{ا ب ث}$ في ثلاث نقط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط $\overline{ا ب ث و د}$ (شكل ٩) او $\overline{ا ب و ث و د}$ (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادّة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة $و$ الى هي مركز دوران الطيارات تكون مركز
ثقلها ايضا فنقول ان المجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة
اكثر من الاخرى فلا يكون محور كهامنتظما ولا منتسقا فلا بد لحصول النفع
من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة ونجعل مركز ثقلها
الاتقال التي تتخذ منها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل
في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن
والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يهجز العملة عن اتباعها
فيجوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور
كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة
لبعد المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المبين

بنقطة $غ$ ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي $م$ و $م$ الخ و $م$

و $م$ الخ هي التي يتركب منها جسم $ا ب ش د$ فتكون ابعاد $غ م$

و $غ م$ الخ و $غ م$ و $غ م$ الخ مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت
دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور $غ$ ونمّا اعمدة $م د$

و $م د$ الخ و $م ن$ و $م ن$ الخ على مستقيم كاستقيم $س غ ص$

المجول محورا لمقادير اقال $م$ و $م$ الخ و $م$ و $م$ الخ فيتحصل

اولا $م \times غ + م \times غ + \dots = م \times غ + م \times غ + م \times غ$ الخ

وثانيا $م \times م + م \times م + \dots = م \times م + م \times م + م \times م$ الخ

اعني انه يكون لقوى $غ م$ و $غ م$ و $غ م$ الخ

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهى انه يلزم أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنعتبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل نقطة غ مركز ثقل الجسم ثم تقطع الجسم بمستويات عديدة مثل م م و م م و م م الخ عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط م و م و م الخ دالة على مساقط مراكز ثقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوي فتكون محصلة سائر القوى المبعدة عن المركز ميسنة بمحصلة قوى م م و م م و م م

و م م و م م الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح التى هى محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل خ التى هى محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتنا

ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة مما بتأثير القوى المبعدة عن المركز لكن

كافي شكل ١٢ اذا كان عمودا ح خ و خ خ الممتدان على محور س غ ص لا يتسبان لمستقيم واحد فان المحور يكون مجبورا على الدوران

بتأثير قوتي ح و خ المضروبتين على التناظر في بعدى غ ح و غ خ و يتحصل مقدارا ح و خ بالنسبة لمركز ثقل غ بضرب قوة م

م في غ ح وقوة م في غ ح وقوة م في غ ح وقوة م في غ ح في غ ح وهلم جرا ثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مساو لمجموع مقادير القوى المؤثرة فى الجهة المقابلة لها ام لا
وقد يبرهن بطرق حساسية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير
الاعتيادية شرط لا بد منه فى جعل مقدار اينرسى الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محاور الطيارات وسائر المحاور المستعملة فى آلات الدوران لا يقع
عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط فى اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عمود على
المحور فى الزمن الذى يكون فيه هذا المحور ماراً بمركز الثقل
وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع فى تحريك الآلات
يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية

وبعد تعيين الاتجاه الكثير الفائد للملايم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة
التي تكون للطيارات عندما يستعمل فى تحريكها قوة معينة ويكون حجمها
ومحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة نفرض أن محور الدوران عمود على مستوى شكل ١١
وليكن مينا نقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف على بعد و ف الذى هو بعد المحور المذكور ولنفرض ف
فى مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مينا بكمية

ف × و ف

وتكون السرعة المنزوية وهى ا التي يأخذها الجسم هى القوس المقطوع
مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً وحدة لها
فقط م التي هى النقطة المادية من الجسم فى مدة وحدة الزمن قوس م د

$$\overline{A} \times \overline{W} =$$

فتكون \overline{M} التي هي كمية التحرك حيث نذهب $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{W}$ وتكون
الكمية الكلية لتحرك نقط الجسم وهي $\overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} \times \overline{A}$

$$\overline{A} \times \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط \overline{M} و \overline{M} الخ الى مستقيم
فـ من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع \overline{M} و \overline{M} و \overline{M} الخ وهي القوى
المدلول عليها بكميات التحرك المتحصلة معنا سابقا تكون متوازية
ومتجهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها وهي \overline{R} بموجب قاعدة مقادير
القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \dots \}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{W} = \overline{A} \times \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{W} \times \overline{M} + \dots \}$$

وتكون قوة \overline{R} باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع $\overline{M} \times \overline{W}$

+ $\overline{M} \times \overline{W}$ + \dots تناقصت سرعة \overline{A} المنزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة \overline{A} المنزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الا ينسب متى اثرن في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار الا ينسب فاذن يكون مقدار الا ينسب لنقطة مادية هو

مجسمها وهو \overline{M} مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينرسی لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينرسی كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المنزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوى المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينرسی الجسم وهذه هي السرعة التي قومتها

ولمقادير الاينرسی خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعى معارف عالية ولنفرض فقط نقطتين مائتين كنقطتي

م و م' (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة غ ونديرهما

حول محور غ ص العمودى على م م' فيكون مجموع مقادير اينرسی م و م' هو

$$م \times غ م' + م' \times غ م$$
 وليكن الآن محور س غ ص موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرسی بالنسبة لهذا المحور الحديد هو

$$م \times غ م' + م' \times غ م$$
 فيكون فاضل هذين المقدارين هو

$$م \times غ غ' + م' \times غ غ'$$
 اعنى مربع غ غ' الذى هو بعد المحور

عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمي م و م'

وليست هذه الخاصية مقصورة على نقطتين مائتين بل تجرى ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذي يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حيثما اتفق وعلى ذلك فمقدار الاينرسی في اتجاه س غ ص المفروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما متى كان هذا المحور مارا بنقطة غ التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مارا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايترسى يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم مضروبا في مربع بعد المحور
 عن مركز ثقل الجسم ولنجعل $\overline{م ك}$ مقدار ايترسى الجسم الذى
 جسمه $\overline{م}$ عندما يكون المحور مارة بمركز الثقل فيكون $\overline{ك د}$ دالا على
 طول معلوم فاذا رمز بحرف $\overline{ك}$ الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران
 كان مقدار الايترسى بالنسبة لهذا المحور $\overline{م} \times (\overline{د} + \overline{ك})$
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايترسى المعين بالنسبة
 لمستقيم مواز للمحور وممتد من مركز الثقل
 ويكون بالبداية مقدار ايترسى سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد $\overline{ك}$ هو

$$\overline{م} (\overline{د} + \overline{ك})$$

ويمكن أن نقابل بين مقادير ايترسى الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة
 مارة بمركز الثقل فنقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار ايترسيه اصغر
 من مقادير ايترسى ماعداه من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايترسى
 الصغير وهذا المحور ثان عمودى على هذا المحور مارة بمركز الثقل مقدار ايترسيه
 كبير منهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايترسى الكبير وثم ايضا
 محور ثالث عمودى على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار ايترسيه يكون في جهة $\overline{ك}$ كبيرا
 مهما امكن وفي الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين
 الممتدين $\overline{أولا}$ فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايترسى
 الصغير $\overline{وثانيا}$ فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايترسى
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للجسام
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور
 الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأنيبا بتغير به
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعه واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما لتحركه حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعده عن المركز تؤثر في جهة ما حتى ينحرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاور الاينرسی الأصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كشافته واحدة في سائر اجزائه منتهيا بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعده عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحينئذ يكون هذا المحور من محاور الجسم الأصلية

وسياأتى عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمنجنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعده عن المركز ثم ان نقط جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل نقطتين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدمة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم يمتد على تحركه حول هذا المحور اذا خلى ونفسه وهذا هو تأثير تحرك الدقامة وما شا كاهما مما يدور حول محور تماثله الموضوع وضعار أسيا وتستمر الدقامة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة أولية بواسطة جبل او نحوه او بإدارة اسفلها بالابهام والسبابة ثم تخلى ونفسها

وقد نبهنا سابقا على أن النجفات تكون متماثلة بالنسبة للمحور الرأسى المار بنقط تعليقها وهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة أكثر من أخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في الخيافات
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول والكراسي المصنوعة من الخشب تكون تلك
الخيول أو الكراسي المعدة لركوب الاشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم
موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسى وبناء على ذلك اذا حركت
هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من انبرسيها جهد
من كلتا جهتي المحور

وقد تنقل قوة $\overline{م ق}$ مع سرعة $\overline{ق}$ جسم $\overline{م}$ المقروض انه لا معارض له
تقلا مستقيما فاذا وقعنا قوة $\overline{م ق}$ المذكورة على جسم $\overline{م}$ المقروض
انه ثابت بالمحور وكانت $\overline{ل}$ هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن $\overline{م ق ل}$
وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا $\overline{ام} (\overline{د} + \overline{ك}) = \overline{ا}$
مضروبا في مقدار انبرسي الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالمو كان لا معارض له
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوى $\overline{ق}$ وهي مبينة بخط $\overline{دا}$ فاذن يكون
 $\overline{ق} = \overline{دا} = \overline{م ق ل} = \overline{ام} (\overline{د} + \overline{ك})$
وينتج من ذلك أن

$$\overline{د ل} = \overline{د} + \overline{ك} \dots\dots\dots \overline{ل} = \overline{د} + \frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعدد من المحور

عن مركز الثقل في $\frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$ تكون على بعد $\overline{د} + \frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$

من مركز الثقل عن المحور ومتى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على
هذا المستقيم اى المحور فانها تدير الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فأذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها دى ضغط على المحور وهذه هي خاصية
مركز الدوران وليكن $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$ فينتج أن $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$ و $\frac{K}{D} = \frac{K}{D}$
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران
وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من D على المحور القديم
وفي هذا النقل المنعكس فائدة جلية

(بيان البندول)

إذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جدًّا جسمًا ثقيلًا لكنه صغير الحجم
كمكبة من حديد او رصاص او بلاتين (وهو الذهب الأبيض) وربطنا
طرفه الآخر في نقطة ثابتة كان للمكبة في حالة السكون وضع يكون فيه الخيط
رأسيًا ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو
البندول المعروف ايضا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء
شكل ١٨ مكرر) ثم ان اهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن
واحدة في الاستعمال فاذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتًا
في نقطة θ وممتدًا ومما ينبغي التنبيه عليه انه اذا خلى الجسم نفسه
وقطع النظر عن المقاومات المتنوعة ياخذ ثقل A (شكل ١٣)
في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئاً فشيئاً عندما يقرب هذا الثقل
لمار بنقط A و A' و A'' من خط θ الرأسى فاذا وصل الى
هذا الخط استمر على سيره وارتفع من A و A' و A'' الى A اعنى يكون
في ارتفاع نقطة A ومتى وصل الى هذا الحد اخذ في الهبوط ثانياً من A الى A' الى A''
كما هبط من A ثم يرتفع ثانياً الى A'' الى A' كما ارتفع الى A ثم يقف
في نقطة A ليهبط للمرة الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لانهاية
ويمكن بقواعد الميكانيك اثبات قوانين التحرك المتردد المعروف بتحريك الارتجاج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من \bar{A} الى \bar{O} يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المماسية \overline{AO} تنسبة تحدث بحلة شديدة لاحد لها بدون تأثير خيط \bar{AO} الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولنرمز بخط \bar{AG} (شكل ١٤) الى تأثير التماثل وبمستقيم \bar{AS} الى القوة المماسية المتكسبة من الشاقول عند وصوله الى \bar{A} . وليكن \bar{AG} رمزا الى القوة المركزية فيتحصل معنا قولان $\bar{AG} = \frac{\bar{AS}}{\bar{AO}}$ وثانيا ان

قوى \bar{AG} و \bar{AO} يتحدان مع قوة \bar{AO} المماسية بأن نسقط \bar{AG} على \bar{AG} من مماس الدائرة في نقطة \bar{A} ثم نضيف هذا المسقط وهو \bar{AG} الى \bar{AS} اذا كان البندول هابطا او نطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحينئذ تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذى يكون فيه البندول معدا لقطع قوس يساوى \bar{AS}

وهذا يؤدى الى اتنا عند صعود البندول فى ازمئة واحدة نطرح الكميات التى اضعفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحينئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة فى النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبنى على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى فى ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت مادلات عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهناك خاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريرا وان كان القوس المقطوع فى احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاث او رباع
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية نفرض $\overline{بندولين كيندولى شأ}$ و $\overline{شأ}$
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التثاقل الممين في هذين الشكليين $\overline{برمز أرغ}$
 $= \overline{أرغ}$ حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا $\overline{أرغ}$ في $\overline{أرغ}$ على

قوس $\overline{أق}$ و $\overline{أرغ}$ في $\overline{أرغ}$ على قوس $\overline{ان}$ كان $\overline{أرغ}$ و $\overline{أرغ}$
هما القوتان المماسستان

ولمتمد خطي $\overline{اص}$ و $\overline{اصه}$ الاقبيين الى خطي $\overline{شق}$ و $\overline{شق}$

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث $\overline{أرغ}$ صغير جدًا وامكن جعل قوس

$\overline{أرغ}$ عمودا على $\overline{أرغ}$ وكذلك على $\overline{شأ}$ فان مثلثي $\overline{اثص}$

و $\overline{أرغ}$ القائمى الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين
عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي $\overline{اثص}$ و $\overline{أرغ}$
القائمى الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التاسبان وهما

$$\overline{اث} : \overline{أرغ} :: \overline{اص} : \overline{أرغ}$$

$$\overline{اث} : \overline{أرغ} :: \overline{اصه} : \overline{أرغ}$$

لكن حيث ان $\overline{اث}$ و $\overline{اث}$ متساويان وكذلك $\overline{أرغ}$ و $\overline{أرغ}$ فانه يحدث

$$\overline{أرغ} : \overline{اص} :: \overline{أرغ} : \overline{اصه}$$

فإذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدًا فان الفاضل بين

اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصه وقوس

ان وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا

لامتداد قوسى اق و ان

ويبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المتزايدة عقب الوقت الثانى

والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول

الاول والثانى في كل من هذه الاوقات مناسبة للقوس المعدة لسير البندول

وعلى ذلك متى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة

كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحينئذ

يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة

اذا قطع النظر عن الفاضلات الصغيرة جدًا

ويكون لهذه الخاصية الاخيرة منفعة عظيمة في الفنون وعلوم الرصد في حالة

ما اذا تحرك البندول وخلى ونفسه وعارضت مقاومة الهواء جميع حركاته

وابطأتم بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فادا كان البندول ثقيلًا جدًا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التى

تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغييرا قليلا فيكون معظم

هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير أن تكرر الرجات المستمرة المعرض

لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله

تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية

ثم ان الاجسام تكون سريعة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة

من مركز الارض وقد علم مما سبق أن المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان

الحليمان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من

مربعى بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد
البندول عن مركز الارض فان رجات هذين البندولين تكون حاصلة في زمن
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب
قربوا ايضاً من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة
القطب فانه يرى البندولين اللذين تحدث رجاتهما في زمن واحد اطول
مما اذا رأهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط
الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب
لتكون مدة الرجات واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول مبيناً
في كل مكان لبعده عن مركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تشاقل الاجسام جزء صغير لتتعاقل قواها
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغير معانعلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه
لمهارته اخترع بندولا منتظماً بواسطته يتحصل مع غاية الضبط قياس
ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التي يتألف منها الخط الجانبي
الذي ينبنى على قياسه الطريقة المترية ثم ان ما وقع بين النتائج الحادثة
في موضوعنا هذا من علم الهندسة والميكانيكا من غريب التوافق والاتحاد
هو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها
على فهم غوامض البعض الاخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات
التي لا يخلو عنها كل علم ونظمها في سلك الطرق المتحد المآل التي لا يوجد فيها
الخطأ الا نادراً بحيث تكون مثلها في القاطع بصحتها

وعوضاً عن أن نفرض أن التشاقل يتغير نفرض أن طول خيط التعليق هو الذي
يتغير ونفرض بندولين غير متساويين كـ بندولي شـ و شـ

(شكل ١٧ و ١٨) فيحدث هذا التناسب وهو

$$\text{ا} : \text{ا} :: \text{م} : \text{ا}$$

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس اق : قوس ان :: م : ا

كان شكلا اثق و اثن متشابهين

ولتكن اغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ا بواسطة

التناقل نقطة ا المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن اغ = م

× اغ فيكون اغ حينئذ لا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم ا

المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل على عدد غير محدود)

ولنسقط اع في اغ و اغ في اغ فيحدث من مثلث اغ غ

و اغ غ المتشابهين هذا التناسب وهو

$$\text{ا} : \text{ا} :: \text{اغ} : \text{اغ} :: \text{اغ} : \text{اغ} :: \text{اق} : \text{ان}$$

وعلى ذلك فساقتا اغ و اغ اللتان قطعهما الپندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن م بالنسبة للپندول الاقل وزمن ا بالنسبة

للتاني تكونان مناسبتين لقوسى اق و ان فيتحرل حينئذ الپندولان

بالتناسب على قوسى اق و ان بحيث تكون ا زمنة الپندول الاقل م

حين تكون ا زمنة الثاني ا فاذاً تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقتهما الپندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسى الى بعضهما

كنسبة م : ا متى كانت نسبة طولى الپندول الى بعضهما :: م : ا

بمعنى انه في المحل الواحد من الارض تكون اطوال الپندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقتهما هذان الپندولان في أحداث رجائهما

واقول من عرف قانون تحرك البندولات هو المهندس الشهير غاليله صاحب الاستكشافات اللطيفة في ميكانيكا المتأخرين وقد اجري في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بانه يعلق في الهياكل والسمريات باعلى نقطة من القباب والقبوات نخبات ذات ثقل عظيم بالنسبة للحميل او السلسلة المعلقة هي بها ويكفي في احداث ارتجاج هذه البندولات العظيمة ادنى شئ من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليله مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التي يرتج فيها بندول النخبة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتج فيها غيره الا مرة واحدة وحيث ان مربع العشرة اى عشرة مضروبة في مثلها يساوى مائة يكون البندول الاول اطول من الثانى مائة مرة فاذا كان طول البندول الصغير معلوماً فانه يحدث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذى يكون لفتح القبة او القبوة فوق النخبة التي لقر بها من الارض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوى مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله ايضا في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة او نقصانها

وقد عرف طول البندول الذى يدق التواني السبينية برصدخانه مدينة

باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٧ و على ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة الفرنساوية بمجاذبة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لا يمكن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذى يدق التواني بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندنا الى الان ولما بقى من المسائل التي لا بد منها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الامر المهم الخاص بالعلوم التي بها يتوصل

الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تناسط الارصاد والاشغال الوقتية بحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تتحقق ثمرات مشروعات الانسان ويتخلد ذكره على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابديعا يتعلق بالپندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالپندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الآخر من القضيب المذکور حدث عن ذلك پندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل درجة من درجات هذا الپندول الحاصلة في ازمة من مساوية الموافقة للسیر الثابت للپندول او الساعة الدقاقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذه الآلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادة التي تتربك هي منها حيث ان القضيب المعدن لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة رجات الپندول تتغير دائما وقد صنعوا پندولات تعديل وهي پندولات تتعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد بين انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما نقصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعليق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب أ ب (شكل ١٩) فجعل في نهايته السفلى عارضة افقية كعارضة ش د عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي ش هـ و د ف وعارضة اخرى افقية بمتصفها طوق يمر منه قضيب أ ب تجمع بين قضبي النحاس المذکورين ويكون

في نقطتي ك و ل اللتين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيبان
من حديد قضيب ك م و ل ن مجتمعان معا بواسطة عارضة
م ن ومثبتان في عدسة و ل ن فيئذ يعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة
على قضيب الحديد وهما ا ب و ك م اللذين على ارتفاع ا
الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي ا عن مركز العدسة زيادة مناسبة
لارتفاع ا المذكور وأن قضيب النحاس وهما ث ه و د ف
عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة برفعان عارضة ك ل ويرفعان
ايضا في زمن واحد قضيب الحديد وهما ك م و ل ن وكذلك
عدسة و ا المعلة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة
تأثير قضيب النحاس مناسبة لطول ه ث او د ف وينتج من ذلك
انه اذا كان طول ا و ه ث مناسبين لامتداد النحاس في الاول
والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي
يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن
فرضه ايضا في نقصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بالنحاس
قضيب الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير
انكماش قضيب النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الاخيضا مجردا عن التناقض
معلقة بانهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه
المناسبة فاذا استعمل في ذلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه
ثقل معلوم وحجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع
التباسبه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكور
بمقتضاها رجات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق في نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما

وهو ثو بسيط (شكل ١٤) والاخر وهو ثد هف

مركب فتي استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا
ومازاج مركز ثقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة افقية مؤثرة على بعد كبعد ر عن المحور
فيكون تأثير التثاقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة
واحدة منزوية وينبغي أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعد
عن المحور بكمية ر المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$\overline{ر} = \overline{د} + \frac{\overline{د}}{د}$$

ولنجث عن التأثير الذي يحدثه التثاقل على البندولين عند تباعدهما
عن المستقيم اراسى فنقول

لنفرض أن التثاقل يؤثر من مبداء الامر على غو (شكل ١٢)

الذي هو ساق البندول البسيط المارد دائما بنقطة غ التي هي مركز ثقل

البندول المركب وايكن ول = ع هو الارتفاع الرأسى

الذي نقيس به تأثير التثاقل في البندولين في زمن يسير كزمن ط ونحل

ول و غو الى ول و ع لتحللا عموما على ثغو

فيكون تأثير التثاقل الحاصل على مركز ثقل البندول المركب مينا بخط

ع وتأثير التثاقل الحاصل على البندول البسيط مينا بخط ول

= غو لكن حيث كانت نقطة و موجودة في مركز دوران البندول

المركب فان قوة غو المنقولة الى ول تدبر البندول كما اذا كان

في نقطة و اى كمالو استبدل البندول البسيط بالبندول المركب

فأذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستمرين بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانياً يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حينئذ بمركز الارتجاج فأذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فإن مركز الدوران يمتزج بمركز التعليق ويصيران شيئاً واحداً وقد تقدم أنه متى تقل بالتوازي محاور الدوران من ث الى و اتقل

مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ش غ و فأذن اذا نقل محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الوجة منقولاً من و الى ث وموجوداً على محور التعليق الأول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي تحصل رجائه في زمن حصول رجاء البندول المركب

ثم ان البندولات المركبة واطراف مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقاقة وغيرها من الآلات ذات التحرك المتردد لاسيما تحرك السفن عند ميلها من جانب الى آخر او من المتقدم الى المؤخر وسيأتي في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء توضيح ذلك باتم وجه

(بيان معادل الآلات البخارية)

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيها شدة القوة كالبخار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفتح بالتدريج مسلكاً للبخار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حد النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطراً ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيين من حديد أيضاً يرتجان على محور افقي يمر باسطوانة رأسية فإذا دارت هذه الاسطوانة حدث من دورانها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرتفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان
مجمعهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للمحور يرتفعان
وينخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقى البندولين فاذا ن يكون
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين
وبعدهما عن المحور وقد يحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلق
كثيرا او قليلا المنفذ الذي يخرج منه البخار المتراكم (كما ستقف على ذلك
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة)

(الدرس الثامن)

(في بيان الرافعة)

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتحويل التحركات الحادثة بواسطة الحبال اللينة جدا التي
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها
فائدتين وهما الدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا ان تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة
المتجهتين على مستقيم واحد كيد المسحكة (شكل ٢) وكاشة المدفع
(شكل ٣) في فن الطوبجية وكخطاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط في القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب \overline{AB} (شكل ١)
ان يكون مستقيما بل يكفي ان تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا وقعنا
على نقطة B قوة تشد او تدفع في جهة \overline{BA} او \overline{AB} فان تأثير هذه
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثانية تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصلة
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول (شكل ٥) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي A موجودة

بين قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة $\overline{ر}$ موجودة بين قوة

$\overline{ح}$ ونقطة الارتكاز وهي $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة $\overline{ح}$ موجودة بين مقاومة $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التناقل تكون قضيبا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$ (شكل ٥) أو $\overline{بثأ}$ (شكل ٦) أو $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودى على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ إلا بنقطة الارتكاز

وهي $\overline{أ}$ الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارة بنقطة $\overline{أ}$ واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعنى أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز أيضا

فاذا استبدلنا رافعة $\overline{بأث}$ العمودية على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

برافعة أخرى مائلة منخنية أو مستقيمة كرافعة $\overline{سأث}$ لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة $\overline{أ}$ ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ إلا مستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

ولاجل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٨) عموديتين

على $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يدبران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوى حاصلًا في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية ب ا ث

ولتكن الآن قوة ر مساوية ومقابلة لقوة ر فتكونان متوازيتين
 وحيتذ تؤثر قوة ر على مقاومة ر كتأثير قوة ح عليها فاذن تكون
ح و ر المتساويتان الواقعةان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويين
 وهما أ ب و أ ث لهما شدة واحدة بهاتذ ورقيقة أ الثابتة

مثلا اذا اشترنا بمستقيم أ ب لجزار مربوط به فرس يسحبه على ح
 فان تأثير الفرس الواقع على نقطة أ يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي
 يقطعها أ ب مادام بعد أ عن ب ثابتا على حالة واحدة
 ولنفرض الآن أن قوتين حيثما اتفق كقوتى ح و ر (شكل ٩)
 يكونان واقعيتن على رافعة حيثما اتفق كرافعة ب ا ث فحيث أن أ هي
 نقطة الارتكاز ندير أ ب الى أ ر بحيث يقول ب ح الى ر ح
 الموازى لخط أ ر ويلزم أن تكون محصلة قوتى ر و ح مارة دائما
 بنقطة أ الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{أ ث} = \overline{ح} \times \overline{أ ر} = \overline{أ ب} \times \overline{أ ر}$$

وعلى ذلك فلهما كن اتجاها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها
 عن نقطة الارتكاز ايضا

(تطبيق ما تقدم على تحويل التحركات)

اذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهاى ب ح و أ ر
 المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة ب ا ث
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حبلان او سلسلتان او جزيران
 او سلكان معدنيان مثل ب ح و أ ر وتكون نقطة أ التي هي
 رأس زاوية ب ا ث ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذه النقطة
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فاذا اقتضى الحال تحويل التحركات صغيرة فانه بواسطة شد سلك $\overline{ح}$ (شكل ١٠) تنتقل $\overline{ب}$ الى $\overline{س}$ ويكون قوس $\overline{ب س}$ مغايرا قليلا لجزء من مستقيم $\overline{ب ح}$ وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك $\overline{ب ح}$ ولا اتجاه سلك $\overline{ب ش}$ المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل تحويل التحركات المترددة

ولنفرض أن المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس $\overline{م م}$ (شكل ١٢) وخفضه بواسطة قوة افقية تشده في اتجاه $\overline{ب ح}$ فن البديهي انه اذا شد سلك $\overline{ب ح}$ في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي $\overline{ب ا ث}$ يرتفع ذراع رافعة $\overline{ا ث}$ ويرفع مكبس $\overline{م م}$ واذا اريد أن $\overline{ث ط}$ الذي هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحد لزم أن يكون دائما مماسا لقوس $\overline{ث ش}$ الصلب المرسوم من نقطة $\overline{ا}$ المأخوذة من مركزا

فاذا افلتناسلك $\overline{ب ح}$ فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك في التأثير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات المترددة على التحركات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من رجات البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار $\overline{د ح}$ (شكل ١٣ مكرر) من نقطة $\overline{ل}$ بساق $\overline{د ث}$ ومن نقطة $\overline{ث}$ بذراع $\overline{ث ا}$ من رافعة $\overline{ث ا ب}$ مع تأثير قوة $\overline{ح}$ على ساق $\overline{ب ح}$ غير القابل للانشاء فاذا شد $\overline{ب ح}$ رسم ذراع الرافعة وهو $\overline{ا ث}$ قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة

ومتى دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعاً بالرافعة
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحرك النشارين (شكل ١٣)
الذين تكون اعضاؤهما وهى **ش ا ب ح ر ض و ش ا ع ر ض ه**
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة * مثلاً اذا كانت
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة فقطعت بذلك مسافة
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة
أكبر من القوة مائة مرة (فإذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلًا في جهة القوة
وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الا أن سيرها يكون بواسطة جزء من
القوة لم ينعقد بالكلمة لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء
متى اريد تحصيل جزء القوة الذى لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغراً بالهذه النتيجة
انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبق من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكفى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فإذا فرضنا
ان قوتى **ح و ر** (شكل ١٠) متوازتان بواسطة رافعة **ب ا ث**
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلاً فان التوازن ينعقد ويكون التحرك حاصلًا
حيث أن ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**
الذى هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو **ا ث** يدور في جهة
ث ر المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين
كزاويتي **ب ا ر** و **ث ا ث** فاذن يكون قوسا **ب ر** و **ث ث**
الذان قطعتهما نقطتا **ب و ث** مناسبتين لطول ذراعى الرافعة
وهما **ا ب و ا ث** (ولنفرض أن هذين الذراعين يكوanan عمودين

على اتجاه القوتين المقابلتين لهما)

لكن حيث ان $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ا} : \overline{ب}$
 يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس} : \overline{قوس}$
 فعلى ذلك تكون قوتنا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مناسبتين تناسباً متعاكساً للقوسين اللذين
 تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع
 قوس كبير بقدر صغرهما بالنسبة للمقاومة فيلزم حينئذ أن القوة في المسافة
 التي قطعها تفقد ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية
 التحرك المقيسة بمجاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة
 المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة
 في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلاً ازدياد كمية التحرك فاذن يثبت استحالة
 احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادثين من تقطع $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ وجعلناها
 وحدة (شكل ١٠) فان مسافتيهما و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ يدلان على
 سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$
 اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلاً جداً على
 حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$
 $\times \overline{ث}$ بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة
 تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو $\overline{اب}$ (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه
 عمودا على $\overline{بح}$ الذي هو اتجاه القوة وادرننا الرافعة قليلاً بتدوير زاوية
 $\overline{بام} = \overline{رام}$ وكان $\overline{ا}$ عمودا على $\overline{بح}$ الممتد فحيث ان
 نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا تناسب وهو

$$\overline{اب} : \overline{ا} :: \overline{بم} : \overline{رم}$$

فاذا مددنا من نقطة $\overline{م}$ مستقيم $\overline{م ن}$ عمودا على $\overline{ب ح}$ الممتد
حدث من ذلك مثلثا $\overline{ب م ن}$ و $\overline{أ ب}$ وهما متشابهان حيث ان
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا تناسب وهو
 $\overline{أ ب} : \overline{أ} :: \overline{ب م} : \overline{ب ن}$

وذلك يقتضى أن $\overline{ب ن} = \overline{م}$ وحينئذ فهما كانت $\overline{ب}$ التى هى
نقطة وقوع قوة $\overline{ح}$ على ذراع $\overline{أ ب}$ فانه عند اختلال التوازن قليلا
وقياس المسافة التى قطعها نقطة الوقوع على $\overline{ب م}$ الذى هو اتجاه القوة
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فحينئذ يكون التوازن
حاصلا متى حدث عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم
او عن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور
حاصل واحد على اى حالة كانت نقطتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين
القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة
بالرافعة بل تجرى ايضا فى سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب
الوهمية وقد بنى المهندس لاغرنج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا
التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم
ثم ان محصلة القوتين المتوازنتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن ينتج أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازنتين ومتجهتين فى جهة
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومنتجها
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط $\overline{ز}$ الحياصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجهها الى جهة المقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجهها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتا $\overline{ب ح}$ و $\overline{ش ر}$ متوازيين لزم أن نمد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة $\overline{د}$ (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي $\overline{ب د}$ و $\overline{د ث}$ متوازي الاضلاع لقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وهو $\overline{أ ر د ث}$ فيكون أولا وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ وثانيا يكون هذا الوتر دالا مقدارا واتجاها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(وليكن $\overline{أ ر د ث}$ هو متوازي الاضلاع الحادث من مد $\overline{آ ر}$ و $\overline{آ ث}$ الموازيين لخطي $\overline{ش ر}$ و $\overline{ب ح}$ فيثبت ان مستقيبي $\overline{آ ب}$ و $\overline{آ ث}$ عمودان على مستقيبي $\overline{ب ح}$ و $\overline{ش ر}$ فان مثلثي $\overline{آ ب ر}$ و $\overline{آ ث ش}$ يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية $\overline{ر}$ من المثلث الاول وزاوية $\overline{ث}$ من المثلث الثاني مساويا لزاوية $\overline{ب د ث}$ فتكونان هما ايضا متساويتين فاذا كان مثلثا $\overline{آ ب ر}$ و $\overline{آ ث ش}$ متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{آ ث} : \overline{آ ب} :: \overline{آ ث} : \overline{آ ر}$$

لكن $\overline{آ ث} = \overline{د ر}$ و $\overline{آ ر} = \overline{د ث}$ فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{د ر} : \overline{د ث}$$

فاذا كان يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{آ ث} : \overline{آ ر} :: \overline{آ ث} : \overline{آ ب}$

$$\overline{ح} \times \overline{آ ب} = \overline{آ ر} \times \overline{آ ث}$$

وحيث أن تكون نقطة $\overline{آ}$ المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع القوي مع رافعة ب ا ث هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وفائدة ذلك اظهار الاتحاد بين امرين متباينين

فاذا كان هنالك عدد مامن القوي مثل ح و خ و ر و ض و ط (شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه ف ونزلنا اعمدة

ا ح و ا غ و ا ر الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لمقادير انقوى التي تدير الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانیا مجموع الحواصل المتقابلة لمقادير سائر القوى التي تكاد تدير الرافعة في جهة مضادة للممتدة ت م كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحينئذ يعلم شرط التوازن من هذا التساوي وهو

ح × ا ح + خ × ا غ = ر × ا ر + ض × ض ضه الخ
وحيث انهنما الـ كلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصلية وعملياتها فنقول

(بيان الرافعة التي من النوع الاول)

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعها متساويين والتوازن فيها مستلزمًا لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان

فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعها ا هـ ما ا ب و ا ث متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي آ محمولة على لسان ل م د وعلى هذا اللسان محور ل ا د الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون نقل الكفتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحورهما لهما ما لا يبركز نقلهما وأن يكون الوضع الاصيلي لتوازنهما هو الوضع

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلي ولا يكون الشيء الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى فيوضع في احدى الكفتين نقل $\overline{ح}$ الذي هو كناية عن قوة $\overline{ح}$ وفي الثانية الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة $\overline{ر}$ فتكون هاتان القوتان متساويتين وكان قب الميزان افقيا فان شرط التوازن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن $\overline{أب}$ مساويا $\overline{أث}$ بل كان اصغر منه لزم أن تكون $\overline{ح}$ اكبر من $\overline{ر}$ ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الغش المحسرون في موازينهم الفاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير من الرافعة ينعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من الفنون والتجارب التي عملها الكيماويون والطبيعيون والمهندسون كيفية لاتعلق بخصبط الميزان في شيء حيث يضعون في احدى الكفتين جسم $\overline{ر}$ الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج $\overline{ح}$ التي توازنه ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله انقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج المذكورة بجسم $\overline{ر}$ فهذه الانقال الجديدة تدل ضرورة بجموعها على ثقل جسم $\overline{ر}$ مع الضبط

ولا جل اختبار ما يتعلق بالميزان اختبارا تاما ليزم اعتبار نقل الكفتين وقب الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي نقل في الكفتين ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متحدين في الثقل والطول وأن يكون مركز ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسى الممتد من نقطة الارتكاز ومن محور قب الميزان

فإذا كان أب و أث ذراعى الميزان و غ و ش مركزى ثقلهما
يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع أب المحصور فى غ متوازنا
مع ص الذى هو ثقل ذراع أث المحصور فى ش فاذن يكون
$$س \times \text{أغ} = \text{ص} \times \text{أش}$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى أ على مستقيم واحد
كان التوازن حاصلًا دائمًا على أى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة
لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا إلا إذا وضع فيه انقال اجنبية وبالجملة فاذنى
زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك
غير محدود

وينبغى مزيد الاهتمام بجعل مركزى غ و ش اخفض قليلا من نقطة
الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان
ذراعا أب و أث افقيين فاذا اختلف التوازن حينئذ قليلا بهبوط
أب مثلا (شكل ١٩) ورفع أث فان مستقيم أش يقرب
من الافقى بخلاف أغ فانه يبعد عنه أكثر من بعده وهو فى وضعه الاول
فاذن اذا مددنا مستقيمى س غ غ و ص ش ش الرأسيين من
مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ أش الافقى كان أش
بالضرورة أكبر من أغ لكن يكون فى هذا الوضع $س \times \text{أغ} = \text{ص} \times \text{أش}$ هو مقدار
س و ص $\times \text{أش}$ هو مقدار ص = س فاذن يكبر مقدار
اليمن وبذلك يأخذ ذراع أث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة
أث افقيا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه
من التحرك عند وصوله الى الوضع الافقى فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون
أث نازلا تحت الافقى بخلاف أب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك
ارتجاج يصير مستمرا متى كان لا يحدث عن الاحتكاك أو مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستمرار الا أن تأثيراتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة رجات طويلة المسافة او قصيرة لكنها تكون محدودة دائما وليكن $\overline{و}$ (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فاذا كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل $\overline{س} + \overline{ص}$ يأخذ في توصيل $\overline{و}$ الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة $= (\overline{س} + \overline{ص})$ مضروبة في قوس $\overline{م و}$ الذى يقطعه مركز $\overline{و}$ من ابتداء مستقيم $\overline{أم}$ الرأسى وهو قوس مناسب لبعده $\overline{أو}$ بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهى $\overline{آ}$ لزم أن تعد في زمن معلوم رجات هذا القب فان كانت بطيئة جدا وصعبة الحصول كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن ترفع او تخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزئه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بندول مركب تعلم سرعة رجاته ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار ان يرسى الميزان ووضع مركزه وهو $\overline{و}$

و ثم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهى أن تأخذ لسان $\overline{أم}$ المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عودا على رافعة

$\overline{ب آ}$ فتكون جمالة $\overline{لم د}$ المسكة من نقطة $\overline{م}$ عند رفع الميزان

في وضع رأسى ومتى كان $\overline{ب آ}$ افقيا كان اللسان العمودى عليه رأسيا

وحينئذ يكفي لصحة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة

الشمال عند خلوكفى الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ

في الصناعة درجة كمال مالم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها

المنوعة لكي تكون تامة الضبط

والقبان كليزان فهو رافعة من النوع الاول تستعمل لايقاع التوازن بين ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فنفرض رافعة مستقيمة كرافعة $\overline{أث}$ يكون ذراعها الصغير وهو $\overline{أث}$ مأخوذاً وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوماً الى عدد ما من الوحدة فبحسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف $\overline{ح}$ في نقط التقسيم وهي ١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف $\overline{ر}$ فيكون مساوياً لثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو $\overline{أب}$ المقسوم سابقاً الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو $\overline{أث}$ تقسيماً ثانوياً بأن نقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء متساوية مثلاً فان كلامنا من هذه الاجزاء الثانوية يدل في حاصل $\overline{أب} \times \overline{ح}$ على عشر حاصل $\overline{أث} \times \overline{ح}$ وذلك يستلزم لاجل حصول التوازن أن نزيد ثقل $\overline{ر}$ زيادة تساوي عشر $\overline{ح}$ وكل تقسيم ثانوي مساوٍ لجزء من مائة من $\overline{أث}$ يدل ايضاً في حاصل $\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{أث} \times \overline{ر}$ على جزء من مائة من $\overline{ح} \times \overline{أث}$

فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع $\overline{أب}$ الى آحاد وعشرات ومآت ونحو ذلك قسمة مضبوطة امكن تعيين مرات احتواء ثقل $\overline{ر}$ مثلاً على ثقل كثقل $\overline{ح}$ وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد من مائة منه وهلم جرا

وما ذكرناه في رجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولاً أن تكون نقطتا الوقوع وهما $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ وثانياً أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلاً من نقطة $\overline{آ}$ ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط $\overline{أث}$ افقياً

فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة التي حصل فيها التوازن نضع محله صنجاً بقدر الارطال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجملة فهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين تتوازن مع الرمانة والفرق الحاصل بين ارطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا يخفى أن استعمال هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقنيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الأول حيث تتوازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل نستعمل ايضا في تحصيل التحرّكات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض رافعة كرافعة **ثاب** (شكل ٢١) الثابتة من نقطة **أ** على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها وهو **أب** منعكسا في الماء والثاني وهو **اث** ممسكا من نقطة **ث** بيد الرئيس او غيره او بالآلة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة ساكنة وكانت دفة **ثاب** موجودة في اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

اث الى نقطة **ث** مثلا فانه يعرض لجزء الدفة وهو **أر** مقاومة **س** التي تزداد بازدياد زاوية **بأر** وتعمل قوة **س** المائلة الى قوتين

احدهما قوة **صه** التي في جهة **أر** ولا تأثر لها الاشد الدفة من جهة طولها لتخلعها من رزاتها والثانية قوة **سه** العمودية على **أر** التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير و بموجب ما سبق في الدرس الخامس يكون لقوة **س** تأثيره تدور السفينة ويكون مقداره مساويا **سه × غغ**

بفرض أن **غغ** هو بعد مركز ثقل السفينة وهو **غغ** عن اتجاه **سه** ولنجعل **ح** رمزا الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة **ث** ولنجعل **د**

رمزا الى مركز وقوع **سه** فيحدث لاجل توازن الدفة **ح × اث = سه × اد**

*(بيان الرافعة التي من النوع الثاني) *

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المداري والمجاذيف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة واقعة على نقطة ن (شكل ٢١) التي هي مقبض المدرة المرموز اليها برمز ن و م وشاذة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي م موجودة في الطرف الاخر من المدرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في و التي هي نقطة من نقط حافة السفينة اما بواسطة ثقب في هذه الحافة او مسمار رأسي يعرف بالخرطوم ومن البديهي انه اذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصبير الذراع الصغير بثقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة و التي نقلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لتلايزداد الشغل على الملاح بالالتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

*(بيان الرافعة التي من النوع الثالث) *

حيث ان القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لامسا هذه الآلات

فتكون $\overline{أ}$ التي هي نقطة ارتكاز ريشة $\overline{أ ب ث}$ (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حينئذ في نقطة $\overline{ث}$ من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{و}$ فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتنظر سن الريشة ابصرت $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{و}$ التي هي نقط وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على $\overline{م}$ و $\overline{د}$ او $\overline{و}$ لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة فلا يمس سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للآلات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بتمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التأليف الذين لا يرضون استعمال الآلات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متحصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الروافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وثمانون طائفة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ما هو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ما هو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب العجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والروافع بالنظر لتركيبتها

وفي الفنون ما هو نظير هذه الامور الطبيعية كالروافع والاول تارة فان اذرعة
الاشارات روافع متحركة بواسطة جبال كما أن اذرعة الانسان تتحرك
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم
بواسطة استعمال رافعة واحدة. وضع نقطة الارتكاز قريبة جداً من نقطة
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح واقعة على طرف الذراع
الاكبر من رافعة ب ا ث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من
رافعة ثانية كرافعة ش د ه يكون موضعاً على نقطة ث التي هي
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة
كرافعة ه غ ش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على
ث و ه و ش التي هي نقط تقاطع الروافع المتواليمة ولتكن
ل و ل و ل الخ هي الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل
و ل الخ هي اذرعها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\text{الاولى} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ح} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{س} \times \overline{ل}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \overline{س} \times \overline{ل} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

فاذا ضربنا آولاً الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س
و س الخ فحيث ان ر هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

التوازن

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{ح} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} = \overline{ر} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل}$$

اعني أن القوة مضروبة في الأذرع الكبرى من الرافعة تساوي المقاومة مضروبة في الأذرع الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الأكبر من الروافع يساوي الذراع الأصغر عشر مرات فإذا أخذنا بالتوالي رافعة واحدة أو ٢ أو ٣ أو ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ أو ١٠٠ أو ١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيمكن في حصول التوازن بين قوة ومقاومة أكبر منها عشرة آلاف مرة أربع روافع تكون فيها نقطة الارتكاز أقرب إلى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفي أنسكارة يستعملون عدة روافع كالمقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القنن المتخذة من الحديد

وتستعمل أيضاً الروافع المتقدمة استعماً لا بديعاً في إثبات ما يكون للقضبان المعدنية من الامتداد عند تعرضها لحرارة وهذا الامتداد الدقيق جداً الذي لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الروافع الأربع المذكورة إذا كان الذراع الأكبر من الرافعة الأخيرة عقرب مئتين لأنه يكون حينئذ أربع الحركة فيمكن إذن بواسطة تقسيم القوس الذي يقطعه هذا العقرب الحكم على ما يكون للقضيب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة

(راجع بندوقلات التعديل المقدمة في الدرس السابع)

(الدرس التاسع)

(في بيان البكرات والملفات)

البكرة من حيث هي (شكل ١) تتركب من ثلاثة أجزاء أحدها قرص مستدير

محيطه ثم ميز إلى عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الحبل وثانها محور يدور عليه القرص وثالثها جمالة فجمالة أ ب ش د مثلهى جسم يوجد به ثقب م م ن الذى يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط ط مستدير عمودى على م م ن المذكور معد لدخول محور البكرة فيه

وفى البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الجمالة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابد من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة فى احد طرفي ح ا م ب خ ومقاومة خ ثابتة فى الطرف الآخر منه فاذا اثرت القوة فى المقاومة فانها تشد الحبل حتى يظهر منه جزءان مستقيمان بجزئى أ ح و ب خ احدهما وهو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أ م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا حواص هذا السطح فى الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ فى مستور رأسى كان هذا المستوى ايضا مستويا لمنحنى أ م ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا فى صورة ما اذا كانت النقطة موجودة فى مستوى القوة والمقاومة الرأسى

وكما ان البكرة الثابتة تستعمل فى رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا فى تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعه كليهما فى مستور رأسى واحد يتجه عليه طرف الحبل المرموز اليه

برمز ب خ المربوط به المقاومة التى هى كناية عن ثقل معلق بحبل ب خ يراد رفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن \bar{A} وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة منحني يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل المنثني على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع نقطه وهي \bar{A} و \bar{M} و \bar{B} التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حينئذ واقعة على نقطة \bar{A} مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة \bar{B} مباشرة ايضاً لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن نقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصلًا حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاجال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي تشده واكتسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولا جل تحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديل

كسلسلة \bar{X} و \bar{Y} المربوط بها حمل \bar{X} المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعفه في الثقل فاذا شدت قوة \bar{C} الحبل

حتى نقلته الى ح فان جزء اب يزداد بقدر ح ح وجزء ب خ
 ينقص بقدر خ خ وذلك ناشئ عن عدم نقصان شئ من مقاومة خ
 وعن اكتساب قوة ح ضعف ثقل جزء حبل ح ح وحيث ان مقاومة
خ المذكورة ارتفعت بقدر خ خ = ح ح فان جزء سلسلة التعديل
 وهو ن ن الموضوع على سطح افقى يرتفع ويصير رأسيا ويثقل من
 جهة المقاومة لكن حيث كان ن ن مساويا في الطول لكل من
ح ح و خ خ كان ضعف كل منهما في الثقل فاذن تكتسب قوة ح
 من جهة ضعف ثقل ح ح وتكتسب مقاومة خ من جهة اخرى
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فاذا كان حبل ا ح و ب خ (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة
 قوتى ح و خ المتساويتين موازية لاتجاهى ا ح و ب خ
 ومادة بحور القرص واذا لم تكن قوتا ح و خ المذكورتان
 (شكل ٤) متوازيين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بحور القرص
 وهو ث ونقطة التعليق وهى س ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين
 على التساوى واذا مددنا لتجاهى ا ح و ب خ حتى تقاطعا في نقطة
د لزم أن تكون نقط ث و س و د الثلاثة على مستقيم واحد
 ويحدث من هذا المستقيم مع ا ح و ب خ اللذين هما اتجاهاه القوة
 والمقاومة زاوية واحدة

واذا اردت معرفة الضغط الحاصل من قوتي ح و خ على ث الذي هو محور القرص فالتانعين محصلة دش من متوازي الاضلاع وهو دهش ف الذي يدل ضلعاها المتساويان وهما ده و دش على القوة والمقاومة وذلك أن وتر دش هو محصلة القوتين المتجهتين على دس ث اعني الضغط الحاصل على محور القرص وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة الارتكاز وهي س

وحيث كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائماً للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم يلاعيها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الاردا لقوة من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتا ح و خ متساويتين فان صغيرهما تقدم من كبراهما جزأ بقدرها ويتحرك حينئذ قرص البكرة في جهة كبرهما بفاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص اذ المحور على الجملة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحرك البكرة بطيئاً جداً وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيماً جداً ويمكنني لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جداً ~~ال~~ يمكن يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي اخترعها المهندس أوود ليثبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني من هذا الجزء

ولقد نصفي قطر ثأ و شب (شكل ٤) عمودين على اتجاهي اح و بخ فيكون مستقيم اب عمودا على شش د

الذى يقسم زاوية ا ث ب الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع
مثلثي ده ش و ا ث ب متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك
يحدث هذا التناسب وهو

ح = خ : ر :: ده = دف : دش :: ا ث = ث ب : ا ب
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى
ضغط ر الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر
ا ب الحاصر لقوس ا ب المحاط بجزء من الحبل الملفوف على القرص

(بيان البكر المتحرك) *

اذا بدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة ر
المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير ح و خ كان التوازن
باقيا على حاله بين القوي الثلاثة وهي ح و خ و ر وانما يتغير البكر
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك
من قوتَي ح و خ الواقعتين على طرفي الحبل الممارتين بالقرص ومن قوة
ر الواقعة على الجملة هذان التناسبان وهما

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ده}} = \underline{\underline{دف}} : \underline{\underline{دش}}$$

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ثا}} = \underline{\underline{ثب}} : \underline{\underline{ا ب}}$$

وتبدل في العادة احدى قوتي ح = خ بنقطة ثابتة كنقطة خ فتكني
حينئذ قوة ح في موازنة مقاومة ر وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوتر الحاصر لقوس \overline{AB} المحاط بجزء من الحبل الملفوف على القرص
ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي
الاضلاع للقوى لانها تتعلق باصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة
الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومتي كانت قوتا \overline{H} و \overline{X} متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لزم
أن تكون مقاومة \overline{R} متجهة مثلهما وزيادة على ذلك تكون مساوية
لجموعهما وهو $\overline{H} + \overline{X}$ وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين
القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجمالة

وكما كانت الزاوية الحادثة من اتجاهي \overline{H} و \overline{B} (شكل ٥)
منفرجة نقص وتر \overline{DS} ولزم أن تكون مقاومة \overline{R} صغيرة اذا كانت
قوة $\overline{H} = \overline{X}$ محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة \overline{H} كبيرة اذا كانت
 \overline{R} محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي \overline{H} و \overline{X} للتوازن
مع قوة ثالثة كقوة \overline{R} (شكل ٣ و ٥) أن نربط غالبا باحد حبلي
 \overline{H} او \overline{B} في نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذي تحمله قوة \overline{X}
التي يمكن توفيرها

مثلا في صورة ما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا
 \overline{H} و \overline{X} متساويتين فيكفي في حصول التوازن بين قوة $\overline{R} = \overline{H}$
 $+ \overline{X} = 2\overline{H}$ أن نستعمل قوة \overline{H} وحدها فيتوفر حينئذ
النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

التوازن دون تحصيل التحرك لان تحصيل التحرك لا وفرفيه

ولنفرض حينئذ في زمن معلوم أن نقطة $\overline{خ}$ تكون باقية على ثباتها

وأن نقطة $\overline{ح}$ تسير بقدر كمية $\overline{ح}$ فينتقل قرص البكرة من $\overline{امب}$

الى $\overline{ام}$ ولا يتغير طول الحبل ويلزم أن يكون $\overline{خ ب م ا ح}$

$= \overline{خ م ا ح}$ فاذا طرحنا من الحبلين طولى $\overline{ام ب}$ و $\overline{ام}$

المتساويين وطولى $\overline{خ}$ و $\overline{ح}$ المشتركين بقى هذا التساوى وهو

$$\overline{ع ح} = \overline{ا ا} + \overline{ب ب} = \overline{٢ ش}$$

ولكن $\overline{ش}$ يساوى الكمية التى تتقدم بها $\overline{ر}$ الى $\overline{ش}$ فاذا لم تكن

قوة $\overline{ح}$ الا نصف $\overline{ر}$ لزم أنها تقطع ضعف المسافة التى تقطعها $\overline{ر}$

وحينئذ اذا ضربنا كاتاهاتين القوتين فى المسافة التى قطعتهما فى زمن معلوم

كان الحاصل واحدا وهو

$$\overline{ح} \times \overline{ع ح} = \overline{ر} \times \overline{ر}$$

ثم ان مسافتى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ الصغيرتين يدلان على سرعتين المنتهيتين

لقوى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وما ذكرناه من التساوى يتضمن قاعدة تتعلق بالسرعة

المنتهية وهى جارية فى سائر الآلات بسيطة كانت او مركبة وفى جميع ذلك

ترى أنه اذا امكن بواسطة نقط الارتكاز حصول التوازن بين القوى الكبيرة

والقوى الصغيرة عند وجود التحرك فان التعديل الحاصل بين القوى

والمسافات المقطوعة يكون على وجه بحيث لا تزداد به كميات التحرك اصلا

وفى الغالب تختلط البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما تراه فى شكل ٦

وبهذه الكيفية تعلق المصابيح المعدة للتنوير

وحبل $\overline{ح ا ح ا ب خ}$ يمر حول بكرة $\overline{ا ر ث}$ الثابتة ثم يمر حول

بكرة $\overline{ابث}$ المتحركة التي يعلق بها ثقل $\overline{ر}$ ثم يربط في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة

وليكن $\overline{ح}$ هو الشد أو الجهد الحاصل للحبل المشدود بقوة $\overline{ح}$ فلاجل أن يكون توازن البكرة الثابت باقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون $\overline{ح} = \overline{ح}$ ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مدوتر $\overline{اب}$ في القرص من نقطتي $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللتين يتقطع فيهما مس الحبل لهذا القرص تحصيل هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هنالك عدّة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا حبل البكرة الاولى وهو $\overline{خ اب حث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة وفي نقطة $\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون حبل البكرة

الثانية وهو $\overline{خ اب حث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة وفي نقطة $\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فإذا كانت $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ الخ هي الشدود الحاصلة من حبال $\overline{بح}$ و $\overline{ب ح}$ و $\overline{ب ح}$ الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ر}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ح}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\text{ح}}{\text{ح}} = \frac{\text{أ}}{\text{أث}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أ} \times \text{أ} \times \text{أ} \times \text{أ} \times \text{أ}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}}$$

ولننبه على أنه إذا قسمنا $\overline{\text{ر}}$ على $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربنا خارج القسمة في $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا عدد $\overline{\text{ر}}$ وإذا قسمنا هذا العدد على $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربناه في $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبقى معنا الاكون مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المقسومة على القوة الاخيرة وهي $\overline{\text{ح}}$ تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أ}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أ}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أ}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدًا فاذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أ}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أ}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أ}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة ايضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومتى كانت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت حبال $\overline{\text{أب}}$

و $\overline{\text{أب}}$ الخ اقطار الاقراص $\overline{\text{أبث}}$ و $\overline{\text{أبث}}$

و أ ب ث الخ فعلى ذلك تكون هذه الحبال ضعف انصاف اقطار

ا ث و ا ث و ا ث الخ فاذن تكون $\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢$ الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة
فاذا بحثنا في حالة التحرك عن نسبة المسافات التي قطعتها القوة والمقاومة
وجدنا المسافة التي قطعتها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعتها
قوة ح وهى على النصف من المسافة التي قطعتها قوة ح وهى ايضا على
النصف من المسافة التي قطعتها قوة ح وهكذا وحينئذ تكون نسبة مسافتي
هـ و هـ اللتين قطعتهما قوة ح ومقاومة ر هى

$$\frac{٥}{هـ} = \frac{١}{ر} \times \frac{١}{ر} \times \frac{١}{ر}$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هى

$$\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢ \times \text{الخ}$$

وهذه هى النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين
في بعضهما حدث

$$\frac{٥ \times ر}{ح \times هـ} = \frac{١}{ر} \times \frac{١}{ر} \times \frac{١}{ر} \times \text{الخ} \text{ بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة}$$

$$\text{وحيث ان } \frac{١}{ر} = ١ \text{ يحدث حينئذ } \frac{٥ \times ر}{ح \times هـ} = ١$$

وذلك يقتضى أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما

تساوى قوة $\overline{ح}$ مضروبة في مسافة $\overline{هـ}$ التي يلزم أن تقطعها في الزمن
المذكور عند عروض الاختلال للتوازن على حين غفلة لاجل تحرك الآلة
(وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالبا في القنون
البكرات التي لها أحبال متوازية تقريبا وهي عدة أقراص ثابتة مثل ١ و ٢
و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على حمالة ثابتة وعدة
أقراص متحركة مثل ١ و ٢ و ٣ و ٤ موضوعة على حمالة متحركة
ومثل هذه الجمالات يعرف بالعميار أو البالنك

وحيث إن الحبل يمر بالتوالي على ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥
فإذا كانت حبال $\overline{ر}$ $\overline{ب}$ و $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ الخ
متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساويا للمقاومة مقسومة على عدد
الحبال المذكورة وينبغي أن لا نعد آخر اثنينات حبل $\overline{ا}$ لأنه
لما كان تأثيره مقصورا على البكر الثابت كان لا يغير التوازن في شئ فاذن يمكن
إبدال $\overline{ح}$ بمساويتها وهي $\overline{ح}$ المتجهة على امتداد $\overline{ب}$ وحينئذ
يختفي حبل $\overline{ا}$

وبناء على ذلك ينبغي أن لا نعد من الحبال إلا ما كان مبدءه البكرات المتحركة
مباشرة بمعنى أننا نعد لكل بكرة متحركة حبلين إذا كان مبدء الحبل الجمالة
الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد إذا كان مبدءه الجمالة المتحركة
(شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريبا وربما اعتبرت
في العمل متوازية بدون خطأ بين فإذا كان هناك عدد غير محدود من
البكرات المتحركة كعدد $\overline{م}$ فإنه يتحصل من الحبال $\overline{م}$ في الصورة الأولى
و $\overline{م} + ١$ في الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

او $\frac{r}{r+k_1}$ وهو جزء منه ايضا لكن $\overline{c} = \overline{c}$ هوشد \overline{b} .

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة فى زمن واحد كعكس نسبة هذه الاعداد

لكن $\overline{r} : \overline{h} :: ۲ : ۱$ فاذن تكون قوّة \overline{r} مضروبة
في المسافة التي قطعها \overline{r} تساوي قوّة \overline{h} مضروبة في المسافة التي قطعها

ح الخ ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشـ كل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعيارات احدىهما (شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور متفرقة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مارة بجمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالحز من الجمالة
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون
اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الجبل الذي يمر بالتوالي من عيار
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الجبل لاجل مروره من عيار الى آخر
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل
النشئ عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك
يؤدي الى تغيير عينها وربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك
ولا يكون هذا الضرر بينا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من
بعضهما فان الخلل الناشئ عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون
منفعة الاقراص الموضوعة في جملة واحدة على محاور مختلفة

ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المجال اكثر مما تشغله في الصورة
الاولى فاذا كان المطلوب مثلاً رفع اجمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الجمل وهذا الار تقاع يكون
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها * وعلى
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال

فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقايسة كبيرة على
قوة صغيرة وغلبتها لهما لزم أن يكون لها سنبل كبيرة فبذلك تقطع القوة
افقة كبيرة حتى تقطع المقايسة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي
هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحرر السائرالات

* (بيان التثاقل في البكرات) *

إذا اعتبرنا البكرات اجساما ثقيلة وأريد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة

خ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ

بلا معارض فإنه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة ح ومقاومة ر

وثقل جبل ح ب خ والبكرة بتمامها فإذا كانت م هي ثقل البكرة

بتمامها و ه ثقل الحبل حدث أربع قوى وهي م و ه و ح و خ

تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة ر لاجل حصول التوازن

ثم إذا لاحظنا ما يتر حول ث الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور

يتحمل أولا جهد ح و خ وثانيا ثقل قرص البكرة وثالثا ثقل

حبل ح ا و ب خ في صورة ما إذا كانت القوة تؤثر من أعلى إلى أسفل

كما في شكل ٤ وحينئذ إذا كان م هو ثقل القرص الذي يكون مركزه

في ث لم أن يكون لقوى م و ه و ح و خ محصلة كلية

مارية بمحور ث ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئا من نسب ح و خ

بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيما كان متعبا للمحور ونشأ عنه

احتمكا كان فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيرا مهما أمكن متى كان الغرض

أر البكرة تؤثر تأثيرا عظيما ما أمكن

وأما الحبل (شكل ٤) فإنه في صورة ما إذا كان ثقله محمولا على المحور يكون

حل هذا المحور قليلا بقدر ما يكون ذلك الحبل خفيفا

وما ذكرناه في هذا الشأن له أهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات

في جوانب السفن وإذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفرة العظيم في كمية

ما يستعمل من المواد في أقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لغلبة

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الحبال والاقراص خفيفة جدا

واذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام في تجويفها من بين الخلق والمحور بواسطة نصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات او فواصل رقيقة تجمع بين الخلق ومركز الدولاب كما في شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح موازنا لسائر المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح محتركا للجل والقرص ومقاومة ر بكمية يذل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الآلة

ولكن هذه الكمية تقاس أولا بالمسافة التي قطعها ح وثانيا بمجموع حواصل ضرب ثقل الحبل في المسافة التي قطعها هذا الحبل في جهة طوله وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء حينئذ يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسبا بالضبط لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسبا لمربع قطرهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين) الى اجزاء صغيرة حجموها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسبا لمربع نصفي قطرهما فاذا ن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسبا لمربع القطر مضروبا في القطر نفسه اعني انه يكون مناسبا لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطرهما وهذا بالنظر الى سرعتهما المنزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيرا مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما لم يكن وهذه الفائدة يمكن تحصيلها من استعمال الحبال التي ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الاقطر صغير قليلا لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الحبال لثلاثي تلك الحبال من احتسكا كهها بجوانب الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الحبال مالا مقاومة له اصلا عند الانثناء على حلق البكرة فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور على انترسي هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شدة الحبال مقاومة عظيمة يلزم الاهتمام بتقويتها ومعرفة مقدارها

وسياق أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي تعرض لتحرك البكرات من شدة الحبال

ثمن شوحية ١١ (شكل ١٤) تحمل أولا سطح حح الكبير بواسطة جبل الاختبار وهو شث الذي يدور مرة من جهتي اليمين والشمال على ملف بب المتحرك وتحمل ثانيا سطح خ الصغير بواسطة جبل شث الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف بب في جهة مقابلة لجهة شث و ينبغي الاهتمام بمنع الحبال عن مماسة بعضها البعض للتأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ أولا عن ثقله الاصلي مع ذراع رافعة يساوى نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح خ مع ذراع رافعة يساوى قطر الملف المذكور فيمكن حينئذ اضافة نصف ثقل الملف الى ثقل جل خ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع رافعة يساوى قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل ح مربوط في طرف جبل شث المار ببكرة الردوهي ر وكل وحدة من ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل شث المراد قياس شدة يرتقي حتى يكون تقريرا كالحبال المستعملة عادة في الآلات ونمر بجبل شث من فوق حلق البكرة ونربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الآخر فيرفعون

هذا الثقل او يحفظونه فبذلك يزول مايو جد من الخلل في شد الحبال الجديدة التي تمنع من حصول النتائج المطلوبة
 فاذا احتسنا هذه الاحتراسات في منع الخلل عرفنا ثقل خ الذي لابد منه لهمبوط ملف ب وللظفر بمقاومة حبل ث ورأينا أنه بواسطة شدد عظمية تكون تقريرا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدد الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لمربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلظ الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر آخذ في الزيادة بالنسبة للحمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التي تكون لشد الحبال والتواءها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلايم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثني الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدد كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل مربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الجديدة المقتولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافي للنسبة مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدتها الاصل)

واذا قابلنا مقاومات القنن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الانتهاء وحينئذ فيمكن في القنن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوي كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الحبال فانها تلين بمجرد
ليها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشدة الحبال حين رطوبتها وشم اشغال كثيرة
لا سيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر
وغير ذلك تبطل فيها الحبال وتتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شدة الحبال لا سيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة
معي كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن
هذه الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحبل الذي تحمله الحبال

وقد علمت تجاوب كلب الاولية في الحبال البيضاء وعمل غير الاولية منها
في الحبال المقطرنة (اي المدهونة بالقطران) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين
مهما كان الشدة اضافة كمية ثابتة الى المجهودات التي لا بد منها في شئ الحبل
المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شدة
الحبال المقطرنة لا يفوق على شدة الحبال البيضاء الا بمقدار $\frac{1}{4}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الحبال البيضاء
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناوير ولو كانت بذلك عرضة
لشدة الهواء خفيفة تجدد ما ينشأ عنها في القوى المتحركة من توقيح اجرة الشغالين
يعادل مليصرف فيها حين تبلى سريعا

وقد دلت التجربة على أن الحبل القديم المقطرن يكون شدة كشد الحبل الجديد
المقطرن تقريبا نعم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا أن
تعرضها للهواء والمطر يجمد القطران فيعادل تأثيرها تأثير الجديدة

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انشاء الحبال المتنوعة على الاسطوانات
او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدودها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف
على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير

وقد علمت تجاريب الحبال المقطرنة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر وليمور
مرتفعاً عن الانجماد بخمس درجات اوستة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه
الحبال لاسيما اذا كانت عظيمة القطر وقد علمت ايضا تجربة الحبل المقطرون
المؤلف من ١٥ فرعا حين كان الترمومتر منخفضاً عن الانجماد باربع
درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر
مرتفعاً عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة
الاحمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة

بينية

وها هنا تنبيه يتعلق بسائر التجاريب السابقة وهو انه متى كانت الحبال مثقلة
بائقال ورفع ملف **ب ب** (شكل ١٤) بأن ادير بقوة الذراع ثم خلى
ونفسه فسقط في الحال قل شد الحبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك
التجاريب وهذا عام في سائر الحبال سواء كانت بيضاء او مقطرنة قديمة او جديدة
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون اظهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون
اظهر في الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الحبال ساكنة ممددة من
الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شد الحبل يزيد زيادة بينية لكن
لا يصل الى الحد الذي حدده **ك ك** في تجاريبه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق
او ٦ وعليه في التحرك المتردد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل
وخفضه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او الشامردان المستعمل
لدق الخواير في الارض **ي ي** تكون شد الحبل اقل مما في التجاريب المتقدمة
ومن هذا القبيل الحبل الذي يمر بـ **ي ي** كرتين متجاورتين * ولكيلا يكون التحرك
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في الظفر بشد الحبل عند التوائه على
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثنيه على البكرة الاولى وان كانت درجتهم
واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجراء المنثنية ناخذ في الاستقامة مع البطيء
وأن الشد كبيرا كان اوصغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البحارة البطيئة التحرك ببطأ كافيا والتي بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن الذى يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالبا من حساب المقاومات بالنظر للحالة التى تضرب بالقوى المتحركة

فإن الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ تثبت الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا صقالتى $\overline{ط ط}$ و $\overline{ط ط}$ الحاملتين للوحى $\overline{د د}$ و $\overline{د د}$ ووضعنا ايضا لوحى $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ الغليظين في موضع ضيق وجعلنا اعلاهما اقنيا واصلحناه اصلاحا تاما فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف انتقالا قدرها ٢٥ كيلوغراما بخيوط من الدبارة اللينة التى تبلغ دورتها ٤ ميليمترات ونصف ولا يبلغ شدها جزءا من واحد من ثلاثين من شدة الحبل المركب من ٦ فروع وقد يتحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقلا يبلغ ٢٥ كيلوغراما في طرف كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالتعاقب في جهتي الملف فختبر القوة التى تحرك هذا الملف تحريكاً مستمرا غير محسوس او تظفر أولا

بشد حبل $\overline{ث ث}$ وثانيا باحتكاك الاسطوانة

وشدة الحبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك الاسطوانة $\overline{ب ب}$ الحاصل على مستواقي فهو على نسبة مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للقطر فعلى ذلك كلما كان قطر الاسطوانات التى لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي
يداس بها على الاراضى المزروعة لتكسير ما فيها من المدر وتفتيته ودرس
الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تقيص
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجتري دون
مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في انكلترة قترى الانكليز
يستعملون اسطوانات محقوفة من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر
القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الجسم يكون مقدار انيرسى الجوف
منها اكبر من مقدار انيرسى المصمتة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير
في ادنى النسب واصغرها بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها
ويجري مثل ذلك في استعمال العجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات
المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة ناسب أن تقتصر على
طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة
لا سيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع
هذه الآلات

ولم نعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزاؤها الاصلية
بقوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي
يصنعها البحارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد او النحاس
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة
البكرات المتخذة من الخشب ولنذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمنشار والمحرطة وصندوقها بالآلات القطع
الشبيهة بالآلات النجار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة
مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي الثائل
اللذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليها

وقد اخترع برونيل الميكانيكي وهو من علماء فرنساوية لاجل عمل الوجوه

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة في صناعة ذلك وهي أن
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعا من الخشب مجوفة بجوفها مربعا وملازمة
للبيكرات المطلوبة في الطول والعرض والسمل وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط
المذكور تثبيتا جيدا ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظما
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث يصير وجوها
الخارجة داخلها بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة
جديدة لها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا
وتكون صناعتها على شكل قوسى اسطوانة مستديرة نصف قطرها مبان
لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة المحركة على طريقة بروينل حادثة من آلة بخارية وقد تكون
حادثة من دوران الخيل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو
تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة
بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمثقاب تثقب به
في طرف من اطراف الاقراص ثقب اسطوانيا في جهة محل القرص يكون
قطره مساويا لعرض هذا المحل ثم ننشر بمنشار رفيع جدا داخل في هذا الثقب
من جهتي اليمين واليسار جراً من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل في ذلك مقراضا يكون له بواسطة قوة مستمرة
تحرك متردد وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هوبرت احد مهندسي
البخارة

فاذا كانت البكرات تحمل انضغاطا عظيما فان الضغط الذي يقع على محورها من قرص البكرة يكون قويا وينشأ عن ذلك من جهة أن هذا المحور ينبري وتتغير صورته ومن اخرى أن الثقب المصنوع في قرص البكرة لاجل مرور المحور منه يتسع اتساعا غير متساو ما لم تكن قوة القرص واحدة في سائر الجهات وبِعَظْم هذا الخلل في البكرات التي تكون محاورها واقراصها متخذة من الخشب ولو كانت المحاور من خشب صلب كالخشب الاخضر والاقراص من خشب آخر يعادله كخشب الانبياء

والاولى استعمال الجواهر المعدنية في المحاور والاقراص وقد عملت اقراص من حديد السبك شهيرة بخفتها وتواصل اجزائها ويستحسن عادة أن تكون المحاور من الحديد والاقراص من الخشب وأن يحيط بمراكزها حلقة من النحاس بها فتحة مستديرة قطرها منطبق على قطر المحور انطباقا تاما

ثم ان فن تجويف الاقراص المتخذة من الخشب لاجل وضع لقمة من نحاس فيها هو من الاعمال الدقيقة اللطيفة التي يمكن اجراؤها على وجه تام بطرق ميكانيكية منتظمة كما يمكن عملها باليد وفي طريقة آلة بروينل المتعلقة بصناعة البكرات كصفات عظيمة في عمل اللقمة وتجويف محل في القرص لاجل ادخال اللقمة فيه

وينبغي أن يكون وضع لقمة البكرات في التجويف المعد لها على غاية من الاحكام ثم يثبت بلسقها به بحيث تكون ملتصقة به التحاما جيدا ولا يشترط أن تكون هذه اللقمة متفقة في الصورة وانما يلزم أن تكون صورتها مابينة بالكلية لصورة الدائرة ليحصل منها نهاية ما يمكن من المقاومة عند الدوران في القرص لان اللقمة اذا دارت بهذه المثابة يعدم تحركها الصلابة الناشئة عن احكام وضعها و ثم لقمة مربعة واخرى مثلثة ولقمة بروينل على شكل زهر الربة مركبة من ثلاث دوائر مراكزها على بعد واحد من بعضها

(الدرس العاشر)

(في بيان المنجنيق والطارات المضرسة)

المنجنيق (شكل ١) مركب من اسطوانة كاسطوانة $\overline{أ ب د}$ وطارة مستديرة كطارة $\overline{هـ ف}$ ولهما محور واحد وهما مثبتان ببعضهما بحيث لا تدور الطارة بدون أن تجذب الاسطوانة عند تحرّكها وهذه الاسطوانة يحملها طرفا المحور وهما $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذان يدوران في ثقبين مستديرين على مسندين ثابتين وعلى تلك الاسطوانة يلتف حبل مثبت من احد طرفيه ومربوط في طرفه الاخر مقاومة كمقاومة $\overline{ر}$ فتكون قوّة $\overline{ح}$ حيثئذ واقعة على محيط الطارة

وفي هذه الآلة يسهل معرفة النسبة الحاصلة بين القوّة والمقاومة لانه يلزم لاجل دوران الاسطوانة على محورها أن يكون مقدار مقاومة $\overline{ر}$ مساويا للمقاومة نفسها مضروبة في نصف قطر الاسطوانة

ويلزم لاجل دوران الطارة أن يكون مقدار قوّة $\overline{ح}$ مساويا لتلك القوّة نفسها مضروبة في نصف قطر الطارة

ولاجل حصول التوازن يلزم امران الاول أن يكون المقداران المذكوران مؤثرين في جهتين متضادتين والثاني أن يكونا متساويين وهذا هو السبب

في اهتمامهم دائما بإدارة طارة $\overline{هـ ف}$ في جهة مضادة لاتجاه مقاومة $\overline{ر}$ التي يراد الظفر بها

ولنفرض الآن أن المطلوب تعيين الضغطين الحاصلين على $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذين هما طرفا المحور او اصبع الاسطوانة

فاذا كانت قوّة $\overline{ح}$ مارة بمحور الاسطوانة وكانت نقطتا $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ موجودتين في مستوى هذه القوّة امكن بدون واسطة تحليل قوّة $\overline{ح}$ الى قوتين موازيتين لها وماريتين بنقطتي $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ على التناظر .

فاذا لم تكن قوّة $\overline{ح}$ مارة بمحور الطارة فلا مانع من تحليلها كما تقدم (في الدرس الخامس شكل ١٦) وهذا بالنظر الى قوّة $\overline{أ س}$ التي لم تمر بمركز ثقل الجسم الذي حرّكته

فلنفرض اذن عوضا عن قوة $\overline{ح}$ أولا قوة $\overline{ح}$ المساوية والموازية لها
والمارة بنقطة $\overline{و}$ التي هي مركز الطارة $\overline{و}$ فاني قوتين مساويتين $\frac{1}{2} \overline{ح}$
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي
قطرها ولما كان تأثيرا تين القوتين انما هو لاجل دوران الطارة على مركزها
بدون أن يدفعنا ذلك المركز الى اى جهة كانت لم يدفعنا ايضا مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
الى اى جهة كانت

فحينئذ يكون ضغطا $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ الحاصلان على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
حادثين من قوة $\overline{ح}$ المساوية والموازية لقوة $\overline{ح}$ والمؤثرة في نقطة $\overline{و}$
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين
فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{وم} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة $\overline{ر}$ تحدث على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
ضغطي $\overline{ر}$ و $\overline{ر}$ بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وحرف $\overline{س}$ هنا يدل على النقطة التي يكون فيها الاتجاه مقاومة $\overline{ر}$ ساقطا
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة
ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{وم} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{ون} \text{ و } \overline{ر} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مارتين بنقطة $\overline{م}$ وقوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارتين بنقطة ن سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على مسندى م و ن من القوة والمقاومة
 ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعمها هو ما كانت فيه قوة ح موازية
 لمقاومة ر فعلى ذلك تكون ح و ر و ح و ر متوازية ايضا
 وتكون محصلة ح و ر هي ح + ر ومحصلة ح و ر
 هي ح + ر وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط
 يمكن بالنظر لمقدارين مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان ح و ر و ح و ر
 لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون م س هي محصلة ح و ر
 و ن س هي محصلة ح و ر وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى

المبينة بمستقييات م ح و م ر و ن ح و ن ر

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها
 للمسندين يبقى على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل
 الذي يلف او ينشر تدريجا بحيث يتكون منه حلزون على اسطوانة المنجنيق
 فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد
 الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا
 بحسب النسب المتقدمة وحيث ان كانت المقاومة مجاورة بالكلمة لاحد
 المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوة الكمية بخلاف
 الضغط الحاصل على المسند الاخر فانه يكاد يكون معدوما ومتى كانت
 المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم عمل المنجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسندها
 اعظم ضغط ممكن

ثم ان المنجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اخبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر

عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المفروض انه صغير جدًا
والاوجب أن تكون قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ واقعيتين على اتجاه محور الحبل وبناء
على ذلك يضاف الى قطرى الاسطوانة والطاراة نصف قطر الحبل المستعمل

وبالجملة فتى اثرت قوة $\overline{ح}$ (شكل ٢) على حبل $\overline{أ ب ح}$ الذى له
سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستديرًا وتكون
محصوله سائر المجهودات الحاصلة فى كل جزء على كل فرع من الحبل مارة بمركز
هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة $\overline{ح}$ المحلولة لاجل التأثير فى جميع فروع
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة
مساويًا $(\overline{ث} + \overline{أ}) \times \overline{ح}$ اعنى انه يكون مساويًا لنصف قطر
الطاراة زائدًا نصف قطر الحبل مضروبًا فى القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل $\overline{ر}$ المشدود من احد طرفيه بمقاومة $\overline{ر}$
والملقوف من الطرف الآخر على اسطوانة $\overline{ث}$ ظهر لنا بهذين الامرين
أن تأثير قوة $\overline{ر}$ الحاصل على الاسطوانة هو كناية عن مقدار $(\overline{ث} + \overline{ر})$
 $\times \overline{ر}$ أى نصف قطر الاسطوانة زائدًا نصف قطر الحبل
مضروبًا فى المقاومة المؤثرة فى هذا الحبل

وعلى ذلك فى المخنيق الذى نصف قطر طارته $\overline{ث أ}$ ونصف قطر اسطوانته
 $\overline{ث ب}$ ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ح}$ المؤثرة فى الطارة $\overline{أ أ}$
ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ر}$ المؤثرة فى الاسطوانة $\overline{ب ب}$
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة فى مجموع نصفي قطرى
الطاراة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة فى مجموع نصفي
قطرى الاسطوانة والحبل الذى يشده هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة والمقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف فى ذلك
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبًا وضع صفين
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة فى كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن
المحور ببعده واحد وهو قطر الحبل فى كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب توازن منجنيق واحد او اكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلط الحبال لا يغير شسياً من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغلط الحبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلط الحبال يضم مقاومته لخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الحبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق او طارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل حبال تكون قوتها عظيمة جداً بالنظر لقطر مقروض

ونلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة ح تجبر الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة و (شكل ١) نحو ح ح الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة ر يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في س نحو ر ر الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود مركباً من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيراً او قليلاً و يلتوى التواء مناسباً لمقدار القوة والمقاومة

وسأى في الدرس المعقود للبرمية تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وصورة الحلزون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكثها

*(بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق) *

وما اسلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجري ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضروسة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في الظفر با يرمى الاسطوانة والطارة ويلزم ان يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز للضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التضافه على الاسطوانة يتقطع ثقله
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الاصلية ويكون جزءاً من المقاومة
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائماً
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات
والطارات التى تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اثقالتها
صغيرة مهما امكن لكي تنقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات
وسياًقى توضيح ذلك في الكلام على الاحتمكاكات

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً سمي قضيباً * والمافويله وهى الملوى هى في العادة
رافعة منكسرة بهما قبض تكون يد الانسان عليه كالقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج
سلم التسليق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد
من مركز ثقل تلك المقاومة

وقائدة هذه الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما يمكن عن الخط
الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان
كلما فرضت الطارة كبيرة

وهناك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون
المنوطون بتسمير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة
بين القوة والمقاومة وسيأتي في الدرس الحادي عشر المختص بالمستويات
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين ياناسافيا

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطنابير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق
متنوعة ولنقرض طنبورة او اسطوانة كبيرة القطر على محيطها درجات
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث
يسهل على من تكون يدها متمكنة على قضيب افقي أن يصعد عليها خطوة بخطوة
بدون احتياج الى مدد رجليه متداكيرا ثم ان الأشخاص المعتدين لتحريك
الطنبورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بأيديهم على القضيب الافقي المذكور
واما ارجلهم فانهم عند تقلبها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم
الطنبورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة
والارغات الاقمية هي آلة مركبة من اسطوانة افقية كاسطوانة المنجنيق
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفيها في ثقوب مصنوعة على محيط
الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه
تأثير جهد ايدي الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر
السهم زائدا نصف قطر الحبل الذي تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة
التي يقع عليها تأثير ايدي الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاسيون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام الحجلات ويكون الحبلان الملتفان على السهم المربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجة من العربتين موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصل بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين كثيرا فانهم يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضهما وحرزهما بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الارتجاج

ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة فترى ببلاد انكلترا على واجهات المخازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد الشبايل وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يربطونها في طرف حبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق المتحرك تارة بالمانوية وتارة بالحجلات وما اشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعنى القضبان او الطنابير

فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فانما ندير حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة (المعروفة عند الملاحين بالكويرته) التي يراد تفريغها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة و يلتفت على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاذا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فحينئذ يقع على القوة تأثير المقاومة ويهبط الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامحة لهذا الحمل ثمان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الآلات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد ابريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا لتلك الآلات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكون جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الضبط أن يكون صانعها الهيدالطولي في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المتحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلابة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة انزسي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكره منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الآلات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الآلات الشبيهة بالمنجنيق آلة رفع الاثقال المعروفة بالعميق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة ويكون احد طرفي الحمل المار بالقرص الثابت ممسكا للحمل والطرف الاخر ملتقا على سهم المنجنيق

المتحرك بواسطة القضبان او الروافع و كثيرا ما تستعمل الالة المذكورة في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو منجنيق محوره رأسى والقضيب او القضبان المعدة لتحريكه افقية

و يتحقق التوازن في العيوق والارفات والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذى تكون هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم ضرب كل قوة في طول ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذى يكون مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تناقل الالة على نقطى الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاها افقيا فيكون تأثيرهما على نقطى الارتكاز ضغطا افقيا وينشأ عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغط رأسى لاعلى المحيط المستدير المعد لدخول اصبعى السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التى هى فى العادة مجوفة كالطيلسان الكروى تعرف بالسكرجة

ولا يتأتى في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافقى الواقع على نقطى الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان ثقل الالة لا يدخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جر الاجال حرا افقيا فتتخلق هذه الاجال على الملفات الاسطوانية المخددة من الخشب او الحديد وقد تترحل على عجلات صغيرة او اكرتجبرى في افاريز مجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الأخيرة انهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر
في مدينة سنت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في الفنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء
اشغال هذه القوة العسكرية في الترسانات والمعسكرات والمحاصر

وكذا يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لازمها واشغالها
ومضاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي ينقب الكوربتين
ويستقر على سكرجة موضوعة في الكوربتة المستعارة ويحيط به السهم
في احدى الكوربتات المترسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون
على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الجرس عدة دوار من الحبل
المعد شدة المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحزوية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط
يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة
على طرفي الحبل المثنى على صورة خط بري في حوال الاسطوانة في اتجاه هذا
الخط البري شادة بالضرورة للحبل المزدكور في اتجاه ذلك الخط البري
وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بماسة الخط البري مائتين بالنسبة
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للمحور غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون
كما سبق في تعريف المنجنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المثنى أثناء
حزونها على سهم المنجنيق او المعطاف في اتجاه الخط الحزوي فإن ينشأ عن تأثير
هذه القوة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يبق على الاتجاه الحزوي الذي
كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لحز الحبل المثنى كما سبق أثناء
حزونها على محيط السهم بحيث اذا انضم هذا الحبل الى بعض امتلاء الخط
البري شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البري في اتجاه المحصلة التي
يحصل فيها الحلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الآلة مسافة

كبيرة تساوي طول قنة مثلها من الامتار عدة مآت فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارك هذا الخلل بواسطة حبل غير متناه يعرف بالحبل البرمي وذلك انه يوجد في هذا الحبل على ابعاده عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراد شد هابه فندير هذا الحبل خمسة ادوار اوسنة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكلما دار المعطاف التفط الحبل البرمي الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستقر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الحبل البرمي في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حينئذ بين الجرس و سطح كويرية السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليتحصل صف آخر من الحبل الملتوف على الجهة الاولى ولكن لا تغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومخوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ما سنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الحبل البرمي بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الحبل لاجل رفع جزء الحبل البرمي المنثنى كما سبق ان شاء حلزونيا وبكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار والحزونة ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لا يسهل به رفع الحبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مجوقا من جزءه المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكلما التفط الحبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مخوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتأ المستوى المائل يكسب شد الحبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار والحزونة الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الحبل البرمي عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتفا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الحبل المذكور مع

عجلتي ر و ر الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على
محيط قاعدة جرسين ويكون على هاتين العجلتين مستوى ١١ المائل
الذي يدفع الجبل الرعي يجره على الصعود

فإذا فرضنا حينئذ أنه يوجد عدة منجنيقات او معاطيف مثل أ ب ث
و أ ب ث و أ ب ث الخ (شكل ٩ و ١١) موضوعة على وجه
بحيث تكون ح هي القوة المؤثرة على جبل المنجنيق الاول ويكون جبل
ب أ ملتصقا من احد طرفيه على اسطوانة المنجنيق الاول ومن الطرف الآخر

على عجلة الثاني ويكون ايضا حبل **ب** ملتفا على اسطوانة المنجنيق الثاني
وعجلة الثالث وهكذا وفرننا ايضا ان **ر** و **ر** و **ر** الخ هي شدد
حاصلة لجبال متنوعة لزم أن تكون **ر** و **ر** و **ر** الخ معقبة على التوالي
كقوة المنجنيق الثاني والثالث والرابع الخ
فإذا نتحصل هذه التناسبات الدالة على حالة التوازن وهي

$$ح : ر :: شَب : شَا \text{ و } \frac{شَب}{شَا} = \frac{ح}{ر}$$

ر : رَ :: شَب : شَأْ ، و $\frac{\text{شَب}}{\text{شَأْ}} = \frac{\text{ر}}{\text{رَ}}$

ر : ر :: شَب : شَا ، $\frac{\text{شَب}}{\text{شَا}} = \frac{\text{ر}}{\text{ر}}$

فإذا ضربنا الحدود الاول من هذه المتساويات في بعضها والحدود الثانية في بعضها ايضا نحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{الخ}}{\text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{الخ}} = \frac{\text{ش} \times \text{ب} \times \text{ش} \times \text{ب} \times \text{الخ}}{\text{ش} \times \text{ا} \times \text{ش} \times \text{ا} \times \text{الخ}}$$

واذا قطعنا النظر عن الحدود التي يحجب بعضها بعضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ث} \times \text{ث} \times \text{ش} \times \text{خ}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ث} \times \text{ش} \times \text{ث} \times \text{خ}} =$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منجنيقات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار ساثر الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المتقابلة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانة التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المتقابلة له

ثم ان الطريقة الالية تستعمل غالبًا في تحويل قوت الدوران من محور مفروض الى محور موازله وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري ث و ش (شكل ١٠) قرصين ثا و شا ونحيطهما بجبل اا ب غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لئلا تمنعه عن التزحلق فاذا كانت ح هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة شد كان شد × ح هو مقدار القوة المذكورة فاذا كان ط هو ثقل الجبال لزم أن عجلة ثا ب تكون ح × شد = ط × شا فاذا كان يكون

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}}$$

واذا كان ر هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع شد تحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{شد} = \text{ط} \times \text{شا} \text{ فاذا } \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}}$$

غير أن شد ط الحاصل من القوة يكون عين شد ط الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}} = ر \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}}$$

فاذا فرضنا أن شد = شد تحصل ح = شا = ر × شا

وهذان من شروط التوازن البسيطة جدا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع شد الذي تكون قوة ح واقعة عليه يحدث دورة في زمن ط ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع شد الذي تكون مقاومة ر واقعة عليه

في دور قرص اب دورة كاملة في مدة دورة شد وتقطع كل نقطة ك نقطة آ على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل نقطة من نقط العجلة الصغيرة تكون سرية الحركة ك الحبل غير المتناهي لان المفروض أن الحبل دائما لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة آ في مدة زمن ط على عجلة ا هـ مسافة تساوي محيط اب هـ وحيث ان طول المحيطات مناسب لطول انصاف الاقطار يكون محيط ا هـ الصغير محصورا في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحيث ان يلزم أن نقطة آ تحدث دورات بقدر انحصار شا في شا حتى تقطع على العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فاذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو ر × شد تحصل معنا

$$ر \times \text{شد} \times \frac{\text{شا}}{\text{شا}} \times \text{محيط اب هـ}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة ح × شد × محيط اب هـ

$$\text{حيث ان } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}} = ر \times \frac{\text{شد}}{\text{شا}} \text{ يحدث منه}$$

$$ح \times \text{شد} = ر \times \frac{\text{شا}}{\text{شا}} \times \text{شد}$$

وبناء على ذلك يحدث

$$ح \times ش د \times محيط ه ا ب = ر \times ش \frac{ش}{ا} \times محيط ه ا ب$$

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما باقية على حالة واحدة بين كيتي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

و يكثراسعمال الآلة التي ذكرناها نفا في حرفة الخراطة وتستعمل ايضا في الحرف الهينة كسفن السكاكين وكذلك في فن الغزل كالقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الغازل المؤثرة في طرف المانويله بواسطة دقاسة تكي عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير العجلتين وربما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضمة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوع في الطرفين المثنين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا جيتئين طارقي $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ه}$ متى كانتا متحركتين بوتر $\overline{ا ب}$ (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ه}$ تتحرك بسرعة واحدة الا ان $\overline{ا ه}$ (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و $\overline{ا ه}$ بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا $\overline{ا}$ و $\overline{ا}$ (شكل ١٠) متحدتي السرعة فان نقطة $\overline{ا}$ تحدث على $\overline{ا ه}$ دورة كاملة حين تحدث $\overline{ا}$ على $\overline{ا ه}$

الى جهة تحرك $\overline{\text{شاه}}$ وقوة $\overline{\text{ن}}$ المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة
على الطارة الثانية وهى $\overline{\text{شاه}}$ لزم لاجل حصول التوازن أن تكون
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولكن قوة $\overline{\text{ح}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ فى طرف ذراع رافعة $\overline{\text{شد}}$ ومقاومة
 $\overline{\text{ر}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ فى طرف ذراع رافعة $\overline{\text{ش}}$ فيحدث

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{ش}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{شد}} \times \overline{\text{ر}}$$

فعلى ذلك يعلم أولا انه حيث كان $\overline{\text{شد}}$ و $\overline{\text{ش}}$ معلومين فيكلمنا كان

$$\overline{\text{شو}} \text{ صغيرا كبر } \overline{\text{ر}} = \overline{\text{ح}} \times \frac{\overline{\text{شو}}}{\overline{\text{شد}}} \text{ وثانيا حيث كان } \overline{\text{شد}}$$

و $\overline{\text{ش}}$ ملازمين لحالة واحدة فان $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ر}}$ يكونان على نسبة منعكسة
عن نسبة $\overline{\text{شاه}}$ و $\overline{\text{شاه}}$ اللذين هما نصفا قطرى الطارتين المضرسيتين
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها
كانت مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المعادلة لقوة $\overline{\text{ح}}$ ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها
او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطارات المضرسية وهى عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتهية بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هى
منتهية بسطوح خشنة متضرسية بتضاريس بارزة كثيرا او قليلا لانه اذا صعدت
الاجسام المصقولة صقلا تاما بالمكرسكوب (وهى النظارة المعظمة) وجدت
بها تضاريس بارزة وبثاير هذه التضاريس يتعين تحرك عجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض افقية فان
العجلة حين تجذبها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادنى
مقاومة الا أنه بالتناقل تتعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران ثانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة لعدم جزأ من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المعدومة وقد شوهد في عدة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة تدرج عليها عربات ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على ما اسلفناه من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة والعجلات الاعتيادية لا تخلو عن الحرسية فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما عين نسبة ابعاد النقطة التي تماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك انها تستلزم مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون العجلات دائرية على وجه بحيث تنطبق نقاط الضرسين المتماسين على بعضها كانطبقا على العربة على الارض بدون أن تتزحلق احدهما وتحتك على الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطي

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حللا تاما فن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي رسالة جلية نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز والعرض طويلة عن المتقدمة ليكون لها صلابه كافية فيسهل حينئذ رسم صورة

الاضراس ويكنى في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياه البارزة منفردة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الواجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذه الآلة عند تحركها في مبداء الامر تبرى الاجزاء البارزة جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم المضرسة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة

فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لا صرامها صور متنوعة ومتباينة بالكمية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) ولطارات الحجز والمنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدبر الى جهة وتنع الدوران الى اخرى) اضراس مسننة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لزم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالرامم الا في ذكره في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتي وهو أن احدى الطارات المضرسة تستبدل باسطوانة مضرسة منيرة تعرف بالفانوس (شكل ١٥) وتتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة ثقب مربع يعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان الفانوس المذكور ليس الا طارة مضرسة فان نسبة القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المضرسة وهو **اب** ثابتا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو **ف** فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما نؤيله كما نؤيله **ثب** تتحرك بها

طارة آ المضرس المتعشقة بقضيب هـ المضرس وفي هذه الآلة

تكون نسبة القوة الى المقاومة هي $\frac{ح}{ر} = \frac{ث}{أ}$ وترى في هذا

التساوى أن $\frac{ث}{أ}$ هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مانوية تؤثر على الترس الصغير الاول المتعشق بالعملة التي على محورها ترس صغيران متعشق مباشرة بقضيب الكريك ويجعل $\overline{د}$ و $\overline{و}$ رمزين الى نصفى قطرى المانوية والعملة $\overline{و}$ و $\overline{د}$ رمزين الى نصفى قطرى الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ر} = \overline{د} \times \overline{و} \times \overline{ز}$$

مثلا اذا كان $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{و}$ و $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{ز}$ تحصل معنا $\overline{ح} \times ٣ = ١ \times \overline{ر}$ او $\overline{ر} = ٣ \overline{ح}$ فاذا تكون قوة $\overline{ح}$ موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة $\overline{ح}$ لا تكون موازنة للقوة اكبر منها ٣ مرات غير انه اذا اريدت تحصيل التحول يلزم أن قوة $\overline{ح}$ تقطع ٩ مرات مقداراً من المسافة اكثر من المقاومة

(الدرس الحادى عشر)

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسكك الحديد الى مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيماً او محورا ثابتاً في توازن قرص البكرة والمنجنون وما شاكلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة على مستوي ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا صقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة ح ث (شكل ١٠) الدافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث أن كل شيء يصير ممثلاً في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعتبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة ح ث المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي ش خ متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي ش ح عمودية على هذا المستوى وحيث أن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا القوة ش خ وحدها فتؤثر في اتجاه ش أ ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هنالك عدة مامن القوى مثل ش ح و ش خ و ش أ الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب فيلزم جعل كل قوة منها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلق مضلع القوى بمستقيم آخر يدل مقداراً واتجاهاً على محصلة هذه القوى في حينئذ لا يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها ش أ أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإذا لم يحصل التوازن فإن نقطة ث المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة ش أ المنفردة المساوية لمسقط محصلة ش أ على المستوى الثابت

ولنفرض بدلاً عن النقطة المادية جسم ث هـ (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة ح فيلزم أن يكون اتجاه ح ماراً بنقطة ث متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة ح تمر بنقطة أخرى من نقط المستوى الثابت كنقطة ث

بين \bar{A} و \bar{B} لأنها إذا كانت موجودة خلف واحدة منهما رجا قلبت الجسم الى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من نقطه الثلاثة وهي \bar{A} و \bar{B} و \bar{C} (شكل ٧) على مستو ثابت ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات \bar{AB} و \bar{BC} و \bar{CA} فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما كقوة \bar{C} متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقى فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث \bar{ABC} لأنه بدون ذلك لاشئ

يمنع القوة عن إيقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها فإذا كان للجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز الثلاث لزم أن نصل بين كل نقطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلق انغلاقا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا كون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد الى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

وإذا اعتبرنا شاقلا الاجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الاجسام الموضوعة على سطوح اياما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم منخلة الى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفي الفنون عمليات كثيرة جارية على حسب تلك القواعد * مثلا يلزم لاجل

نوازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا
السطح حتى لا يتحرك وأن يكون دفع القوة له في اتجاه رأسه الى سنه والواقع
او ترحل

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه باكثر من ثلاث
نقط لزم أن نراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله
لنعلم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من
نقط تلاقيه مع المستوى الثابت

وذلك لان هناك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهي
التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم
وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث
تمر بمركز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر
على التناظر بمجاور تماثل المضلع او الشكل المنتظم الحادث من نقط
التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون
الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم
على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات
الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل
المذكورة آنفا

وقد يسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على
ارجلهم المتماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون
الضغط الواقع على كل رجل واحدا * وفي الامور الصناعية يجعل لاغلب
الاشياء المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم
التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية
لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات
وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوفية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا للقوة التي تدفع ذات الرجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والتختات والاسرة لها ارجل اربع وهى مستوفية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الارجل الاربعة ربع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كانت وهنالك اشياء تحملها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة فى صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل فى القنون غالباً سطوح الدوران فتوضع على مستوى من الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

أ ب ث الموازية له فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذا ولم نتوغل فى بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم ب ث ف (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين بمستوى ١ و ٢ يكون تماسا لهما فى نقطتي ب و ث فلاحظ أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تائير قوة أ ح متوازنا يلزم بالضرورة أولا أن نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقيمي ح م و ح ن المارين بنقطتي الارتكاز وهما ب و ث وثانيا أن يكون

ح م عمودا على مستوى ١ و ح ن عمودا على مستوى ٢ ناذا توفرت الشروط انعدمت قوة ح م بمستوى ١ الثابت وقوة ح ن بمستوى ٢ الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستوى متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

اذن ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لا جل
توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الأمر متقابلة في نقطة واحدة وعلى
ذلك فلا بد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المماسين له
في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان
القائمان على كل من نقط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحينئذ يعرف
الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط
الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن
تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة
على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة
في المستويات وليس بل يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة
واحدة

ونفرض جسم م ب (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتى
ح و خ اللتين يتقابلان في نقطة أ ويكونان متوازيتين حول
نقطة الارتكاز وهي ث على مستوى س ص الثابت ونفرض
ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع ث أ
مختل قليلا بأن ندير ث أ حول نقطة ث فاذا مددنا عمودى
ث د و ث هـ على أ ح و أ خ امكن اعتبار د ث هـ
كرافعة منكسرة وموجب ما تقرّر في شأن الرافعة تكون مسافة د الى
تقطعها نقطة د ومسافة هـ الى تقطعها نقطة هـ عند اختلال
الجسم قليلا مناسبتين لقوتى ح و خ المقابلتين لهما بمعنى انه
يحدث

ح : خ :: هـ هـ : د د ويحدث من ذلك $\overline{ح} \times \overline{د} = \overline{خ} \times \overline{هـ}$
ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المنبهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائماً بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها
فاذا فرضنا أن اى قوة تحرك الجسم الموضوع على مستوئيات ولا تمسكه بحيث
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التناقل اعنى على
الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت افقيا ليكون الجسم الموضوع
عليه متوازنا من غير أن يكون هنالك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة
استعمال المستويات الثابتة الافقية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل
الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل افقية ليكون ما يوضع
عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتزلق ولا يسقط من
جهة الى اخرى وبمثل هذا السبب جعلوا مستوئيات التخشات والرفوف
افقية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائماً بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع
شروط التوازن ليكون الجسم المحلى لتناقله والموضوع على مستوئيات باقيا
على توازنه

ويخرج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمسه
الا فى نقطة واحدة لزم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز
ثقل هذا الجسم

وثانيا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتى تماس
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن
الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت
فى نقطة واحدة موضوعة خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحاد من
المستقيما التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولنرجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا نقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في نقطة ث فاذا كان يكون مستقيما ع ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحينئذ تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوفية لسان الشرط التي لا بد منها في التوازن

ولنأخذ جسما مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالمسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب افقيا كان التوازن حاصلًا لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز ما بالنقطة ث التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصله ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هنالك فرق ظاهر بين حالتي التوازن وهوانه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) تحرك فوراً حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئاً فشيئاً حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحوّلها عن
ثلاث الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما سلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن نقرض جسمين
بجسمي ا ب ث و ا ر ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا ا غ و ا خ
رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لابد منها في توازن هذين الجسمين
المخترفين عن وضع توازنهما وان كانا مستنديين على بعضهما في نقطة ك
فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما
واحد وليكن ح رمز الثقلهما

فيكون كل منهما مائلا لآخر على مستور رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر
ضغط واحد كضغط س = س ه وليكن الان غ ه و غ ه

هما الرأسيان النازلان من نقطتي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين
الجسمين ولتكن ث و ث هما نقطتا تلاقيهما مع مستوى م ن
فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه
وبالنسبة الى جسم ر ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران
متساويان لكن حيث ان س و س ه هما كناية عن الضغط الحاصل
من كل من الجسمين على الآخر فاذا اتقنا من نقطتي الارتكاز وهما
ث و ث عمودى ث س و ث س ه على هذين الجسمين حدث
س × ث س = س ه × ث س ه وهو المقدار المتحصل من هذا
الضغط

وحيث نلزم أن يتحصل في حالة التوازن

ح × ث ه = س × ث س = ح × ث ه = س ه × ث س ه
فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن
نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على وذلك انهم يضمنون ثلاث بنادق
الى بعضها فاذا توازن كل منها على θ التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السنج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل
بنادقة على الآخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من
السهولة

ولختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده
عنهابان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور \overline{AB} الكبير ميل
قليلا كما في (شكل ١٤) بحيث لا يكون مماسا للمستوى الافقي في نقطة

θ وانما يكون مماسا له في نقطة δ فلا يكون حينئذ \overline{CH} غ θ
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو \overline{CH} غ δ

فاذا اثرت الان قوة $\overline{CH} = \overline{H}$ في جسم \overline{AB} وادارته حول
نقطة الارتكاز وهي δ بواسطة ذراع رافعة يساوي \overline{CD} فان المقدار
الذي به يخفض ثقل الجسم جزء \overline{CH} غ θ ويرفع جزء \overline{BH} غ θ
يساوي $\overline{CH} \times \overline{CD}$ لكن حيث كان \overline{CH} الذي هو ثقل الجسم باقيا على
حالة واحدة فكما تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلى كبر \overline{CD} وكلما كبر
مقدار $\overline{CH} \times \overline{CD}$ فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصلى فاذا
خلى ونفسه وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا اقمنا مستقيم \overline{DH} غ θ الرأسى حتى يصل الى مستقيم \overline{CH} غ θ
الذي هو رأسى في وضع التوازن ثم مددنا خط \overline{CH} غ θ الافقى حدث \overline{DD}
 \overline{CH} غ θ فعلى ذلك يكون $\overline{CH} \times \overline{CH}$ غ θ مساويا للمقدار الذي
ياخذ به الجسم وضعه الاصلى واذا فرضنا أن زاوية \overline{CH} غ θ صغيرة

جدا امكن أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ مساو للقوس المرسوم بنصف القطر وهو

$\overline{و غ}$ بين $\overline{و غ ث}$ و $\overline{و غ د}$ من نقطة و المعتبرة مركزا
ثان نقطة و هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز اتصاف الجسم
بجسم $\overline{ا ث ب}$ فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الاتصاف
فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الجديد وهو
 $\overline{و د}$ على الخط الرأسى الاصلى وهو $\overline{و ث}$ درجة بانسبة يكون قوس

$\overline{غ غ}$ مناسب بالنصف القطر فاذا كان $\overline{و غ ح} \times \overline{غ غ}$
مناسبا ايضا لنصف قطر $\overline{و غ و}$ ومساويا لبعده مركز الثقل ولمركز الاتصاف
وحيث نريد ان نخرج من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم $\overline{ا ث ب}$
على $\overline{ا}$ التي هي طرف محوره الاكبر انحرف عن وضع توازنه قليلا كما في
(شكل ١٥) الذى فيه نقطة $\overline{د}$ الجديدة هي نقطة تلاقي الجسم مع

المستوى الافقى فاذا مددنا خط $\overline{غ د}$ الرأسى فانه يقع خارج تقطى
 $\overline{ا و د}$ ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل $\overline{ح}$ الجسم
حتى يسقط هذا المقدار وهو $\overline{د د} \times \overline{ح} = \overline{غ غ} \times \overline{ح}$

وفي هذه الصورة كالتى قبلها اذا كانت زاوية $\overline{و غ و غ}$ صغيرة جدا امكن
أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$ مناسب بالبعد $\overline{غ غ} = \overline{د د}$ بالنظر لميل محور $\overline{ا ب}$
بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة $\overline{و}$ المعروفة بمركز الاتصاف في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل
لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة
كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{ا ث ب}$ الموضوع على مستوى $\overline{م ن}$

فاذا اتحد مركز الانتصاب وهو $و$ بمركز النقل وهو $ع$ لزم اتحاد خطي $ود$ و $ع د$ الرأسين ببعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهي $د$ وينعدم بعد $د$ وعليه فيكون مقدار $ح$ \times $د$ $=$ ٠ فاذن لا يكون هنالك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوارنا

وبالجملة ففى اتحاد مركز الانتصاب بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الانتصاب فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا اما اذا كان تحته فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حينئذ غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم في بعد مركز الثقل عن مركز الانتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء قوس $ا د$ المرسوم على الجسم بين $ا$ و $د$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الشابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الابداء من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواقي متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احدهما والاتجاهين هو اتجاه الثبات الاكبر والاتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين اقليين ويحدد بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهلم جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بنبات الاجسام المنحرفة قليلا عن وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بمعيشة الاهالى وثروتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي يمكن أن توازنها ثابتا على البحر فانها تسير
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان
توازنها غير ثابت فانها ربما اقلبت وصار عاليها سافلها وفاضت في قاع البحر
من فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد
التي ذكرناها آنفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل
(راجع بحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انهننا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرع
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى
الذي ليس افقيا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادة منه مع المستوى الافقي وبموجب
الهندسة (كفي الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك
الزاوية الحادة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادة من خطين
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما
ممتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط م ن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)
ومستقيم ا ت كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما
زاوية مماثلة للزاوية الحادة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسمائيا كان بجسم س على ث أ فان لم يكن هناك قوة جانبية
تمسكه امكن حل ثقله وهو غ ح الى قوتى غ غ و غ ح اللتين
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة
على المستويات الافقية

واما قوة $\overline{غ}$ فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى $\overline{ث}$ لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على $\overline{غ}$ كنسبة قوة $\overline{غ}$ الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى $\overline{ث}$ الى قوة $\overline{ع}$ الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة $\overline{غ}$ او كان ممسكا بقوة $\overline{غ}$ المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود $\overline{غ}$ واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى $\overline{ث}$ المائل اذا لم يكن هناك الا نقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقاط لم أن يقع ذلك العمود في المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقاط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة او المتحركة

واذا كان جسم كجسم $\overline{غ}$ (شكل ١٨) متوازنا على مستوى $\overline{ث}$ المائل بواسطة قوة واحدة كقوة $\overline{غ}$ الموازية لهذا المستوى لزم اقولا عند تحليل $\overline{غ}$ الذي هو ثقل الجسم الى قوة $\overline{غ}$ و $\overline{غ}$ أن قوة $\overline{غ}$ المؤثرة بالفرض في $\overline{ث}$ تأثيرا عموديا يجعل ذلك الجسم المجرد عن التناقل بالفرض متوازنا على $\overline{ث}$ وثانيا أن قوة $\overline{ع}$ تمر بمركز الثقل وهو $\overline{غ}$ يحدث اذن هذا التناسب وهو

$$\text{قوة } \overline{خ} : \text{قوة } \overline{ح} :: \overline{ع} : \overline{غ}$$

فاذا مددنا $\overline{ن}$ و $\overline{و}$ عمودا على مستوى $\overline{م}$ الاقي كان مثلثا $\overline{ان}$ و $\overline{ح}$ $\overline{غ}$ متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناسب وهو

$$\overline{\text{او}} : \overline{\text{ن و}} :: \overline{\text{ع ح}} : \overline{\text{غ خ}} = \overline{\text{غ خ}}$$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة $\overline{\text{غ خ}}$ الموازنة له كنسبة $\overline{\text{او}}$ الذى هو طول المستوى المائل الى $\overline{\text{ن و}}$ الذى هو ارتفاعه

واذا كانت قوة $\overline{\text{غ خ}}$ (شكل ١٩) اقلية لزم أن تكون $\overline{\text{غ ح}}$ التى هى محصلة قوتى $\overline{\text{غ خ}}$ و $\overline{\text{ع ح}}$ مارة بنقطة $\overline{\text{ح}}$ التى يماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا تناسب وهو $\overline{\text{ع ح}} : \overline{\text{غ خ}} = \overline{\text{ح ع}} :: \overline{\text{م ن}} : \overline{\text{ن و}}$ اعنى أن نسبة ثقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها فى علم الميكانيكا

ولنختم هذا الدرس بنبذة مختصرة ملخصة من رحلتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بالابد منه فى سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة فى ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظمية الحدودى فى المعامل المعدة للصناعة بمملكة فرانس فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة فى صورتين متباينتين تبينا كلياً احدهما أن يكون النقل حاصلًا على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل ما فى الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوز العربات بل تأخذ فى الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احوالها الى النهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة * والكيفية الناجمة فى ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدا عن النهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى
الخلجان وعمومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدا في القوة والتجارة
البحريتين وفي كثير من فروع الصناعة الفرنجية

ثم ان انفع الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها لا غير فاذا سار
الفرس في هذا الانحدار وكان يجز قطارا من العربات لم ينجح في ذلك الا الى
القوة اللازمة للظفر بانرسى الجسمات التي ينقلها وبالموانع الصغيرة التي تحدث
عما يكون في سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجزها الفرس مساويا لعدد
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر
ميل السكة قل هبوط الفرس بالعربات في كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك
أن هنالك انحدارا انفع مما عداه من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه
قوة الفرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلك الشئ وكلما ثقلت العرببة الموسوقة
لزم أن يكون الميل الذي يتبدئ فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد
العربات الفارغة التي يصعد بها الفرس الى هذا الميل كثيرا وحينئذ فاستعمال
العربات الكبيرة في هذه الصورة اكثر نفعاً واتم فائدة كعربات ضواحي مدينة

نوكاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٠٠٠ كيلوغرام ويرزن ثقلها ١٠٠٠

كيلوغرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تحمل كل
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلوغرام ولا يرزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلوغرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع
مخوف ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ٦ ر ١ وطولها ٢

وطول قاعدته العليا من ٨ ر ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٤٥° تقريباً يبلغ ٦ ر ١ ويوجد في عمق العربة طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربة المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدامان من الحديد لاجل سد هايدوران بواسطة لواب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربة فيستبكان هنالك برزتين او مسارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحيحة صغيرة في حلقتي الرزتين فاذا اخر جناها وخلصنا قدمي الحديد انفتحت بسبب تأثير وسقها وهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهناك طافات في مقدم العربة ومؤخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيترات وعرضها الافقي ١٥ او ١٦ سنتيمتراً وبها انثناء داخل دائماً في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيترا

ولنذكر الان جملة من خواص السكة ذات الاخداب الشهيرة التي توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربة انحدارات عظيمة وانما كان هنالك تلال تعارض العربات قليلاً فاحدثوا بها مسلكاً لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدر يكسف نهر الوار بواسطة جسر افقي متجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبني في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠ وعرضه من ٢٥

الى ٣٠ ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين متراً فاكثروا هو من كب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها بصفين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فاذا اتت العربات موسوقة بالمعدن
دخلت في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنعطفة التي
كل مركز من مراكزها على سكة من سكات الحديد الثلاثة فتعال ميلا خفيفا نحو
الرابع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العربجي على السكك الطولية من
هذه الطبقة حتى تصير مسامتة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفجوة المطلوب
في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض
محتوم على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن
هذه السكك الثلاثة سكتان يجتمعان عند انقصالهما عن المخزن ويصيران سكة
واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تنقسم هذه
السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل انتهاتهما وبعد ان تصل العربات
الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ انفرجها مائة مترو هي
مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها ربعين مترا تقريبا
وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسجرة في عدة اخشاب كالشبابيك
طولها عشرون مترا

والقنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة
بين الصلابة والخفة وهي كتابة عن صوارمغروسة في الارض غرسا رأسيا ومن
عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية
مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فاذا كانت احدى العربات صاعدة والاخرى هابطة تلاقيا في منتصف السكة
وهذا اذا لم يكن هنالك الا سكة واحدة واما اذا كان هنالك سكتان فان احدهما
تسلك سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما
السكة التي تركتها الاخرى

ويتخلل المسافة التي بين السكتين ملفات محورها الافقي عمود على اتجاه السكة
وبهذه الملفات حبل معدن لحفظ العربات عند الهبوط واشدّها عند الصعود
وفي اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذي تكون به السفن

المطلوب وسقها فخما ومنتصف سكه الحديد ثلاث نرجات وهى اقواء اقماع
من حديد مائلة بقدر ٤٥° تقريبا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقى يضمه الى الجزء الاعلى منه
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهى متعشقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من
القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او يخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك
انه يوجد فى كل من طرفى القمع عيارات تؤثر من اعلى دريزين من الخشب
قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة
منجنون موضوع على الدرزين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او يخفض
وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملائم
للدرجة التى توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمدا او انخفضت بالجزر

(بيان المستويات المائلة)*

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة
لصناعة الاجزاء الاخرى من سكة الحديد ذات الاحاديد

ولندكرلك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات
المائلة الموجودة بضواحي مدينة نو كاستل ببلاد انكلترة فنقول

يوجد فى اعلى المستوى المائل مكان صغير مركب من طائين احدهما عن يمين
السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفى داخلهما تحت هذا السقف طارة
كبيرة من الخشب افقية موضوعة على شواح متعزضة وبها حلق ملتف عليه
حبل ليس مغرطا فى الطول بل بقدر المسافة التى تقطعها العربة الموسوقة عند
هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزمام وهو
اقرب شها بزمام طواحين الفلين الذى يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة
رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لا تقبل سلاسل رأسية معلقة بشواحي
المكان المذكور ومتى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربة

هناك عربة فارغة قريبة منه جداً فيفك حينئذ طرف حبل الشد الذي كان اعده لصعود هذه العربة الفارغة ثم يفتق الجمالة التي بهذا الطرف من يد الحديد الثابتة خلف العربة الموسوقة المطلوب هبوطها

وقبل تتيق هذه الاعمال تأتى عربة فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجد العربي هناك عربة موسوقة فينكها ويربط بها فرسه ثم يربط حبل الشد في العربة الفارغة ويسير

فاذا انتضى هذا العمل دفع العربي بيده عربة الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على احدى جهات هذه العربة قابضاً على الرافعة المجعولة زماماً لحدى العجلات ويوجد في اصغر اطراف هذه الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي يمتك عليها هذا القوس عند ارادة بطي سير العربة ومنع سرعتها فاذا وصل العربي الى اسفل الانحدار نادى باعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يحرّك المنوط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجري ذلك في كل عربتين احدهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن الفرس المعتلّز العربات على سكة الحديد ينزل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضى تغيير الانحدارات وتوقعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائماً لهذه العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكك الحديد ذات الاحاديد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضع مستوا ومن خطوط منحنية متحدة الانحدار في جميع طولها وحينئذ يمكن بواسطة التجاريب الصحيحة أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط الخيل رحلها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفي في تغيير الخيل ولا بد أن يكون عدد الخيل المعدة للنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغيير المذكور في حالي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج الخيل ولا العرجية الى التأنى للسابق او اللاحق ويلزم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند الصعود عايبا هبوط الا اذا كان المحل يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا الهبوط الحاصل عند الصعود أن تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافقي سكة الحديد ذات الاخاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلاسل من حديد (وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما يصنعه من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر) واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك اقمية او احداث اما كن لتغيير الخيل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاخاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد دائما وهى انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاجمال فورا الى الارتفاع المطلوب الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار فاذا كانت كمية النقل السككية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحقيقه هنا وهو أن تخفض النقاط العليا ونظف المستويات المائلة من غير أن يكون ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احدهما للذهاب والآخرى للاياب

ونفسر الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها تنقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلات وى وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصلب اى الزهر وفوقها انشاء بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادح وى وهو ما تكون فيه الاخاديد مجروفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يستعمل به القضيب من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد الاحتكاك زيادة منفرطة عند ملاقات الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب والرمال والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخاديد المجروفة فلا يوجد فيها هذه المضرة فهى لعدم المانع قابلية لحمل الاثقال الكبيرة وقدمتها على غيرها في الاشغال الجسدية وعما يجرى العمل في بلاد غانة واما في ضواحي مدينة نو كاستل فيستعمل فيما المسطحة كالمجروفة وقضبان الاخاديد المجروفة تتخذ من الحديد المطروق وعرض كل قضيب ٤ سنتيمتر وسمكه الرأسى الذى هو اكبر من العرض دائما يكون مناسباً لما يوضع عليه من الاجمال وليست فائدة الاخاديد المجروفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها للاجمال العظيمة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظر صورتها واذا كانت موادها قرب للتلانف من الاولى

وتدرك المهندس استوانسون ان السكة ذات الاخاديد المجروفة التى تحمل عربة بوزن ١٢٠٠٠ كغراما من حديد ستن كيلوغراما عن كل متر من الاخدود المزروج بعد انقضاء عمله ويكفى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة السلطانية يلزم أن تكون حلاية خاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم

يؤدى الى زيادة ابحرة العملة عن مقدارها الاول

ويكفى على ما ذكره المهندس علواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر^م وأن تكون زنة كل قصيبين مع مسنديهما من
٤٠ كيلو غراما الى ٥٠ ويكفى ايضا فى السكك ذات الاخاديد المخوفة
المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قصيبين مع مسنديهما من ٤٠
كيلو غراما الى ٥٠ واما فى المسطحة المعدة للنقل فى عربات صغيرة تجرّها
الخيول فيكفى أن تكون زنتهما مع المسدين ٢٥ كيلو غراما ويكفى ١٨
فيما اذا كانت تلك العربات يجرّها العرجية

(وما ذكره هذا المهندس فى تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن
وانواع النقل وقد ذكر ايضا فى رسالته المشحونة بالفوائد التى فيها فى سكك
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المخوفة ٨٩
سنتمترا وعرضه ٣٣ سنتمترا وأن تلك القضبان تمرّ بعوارض من الخشب
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من
قضبان السكك المسطحة ٢ ر^م وعرضه ٨ ر^م فى الجزء الذى يجرى
عليه العجلة وسمك هذا الجزء يساوى ١٥ ر^م وارتفاع الانثناء ٥٤ ر^م
وسمكه المتوسط ١٠ ر^م)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومساكنها لا بد منه فى السكك ذات الاخاديد
اذ بدون احكام وضعها ووراء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من عجلات
العربات الموسوقة أن بعض المساند يغوص فيها بمقدار ٢ سنتمترا فقط فيكون
التحدار احد قضبان الاخدود فى هذه الحالة بمقدار واحد من سنتين فيلزم حينئذ
لاجل جرّ العربات حديد تكون السكة افقية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع انها
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها تملك تأثير عظيم في صلاحية هذه السكك) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لثبوت الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اي الزهر وتسير اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح

والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند وبوب العرب وملاقاتها لخاصة او حجر صغير يكون على الاخذود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تدم الفيل بأقليم كبرلند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السكة المزدوجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسب به المهندسون استوائون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخذودين من ٣ الى ٦

المسافة التي بين السكتين ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١٥ الى ٣

فيكون مجموع ذلك ١٧

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخذودين واما السكة الضيقة المعدة لغير بجية فانه يمكن تثبيتها بالحصى او رغو المعادن او بالفتح المعرني او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكك الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون
 انثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية
 او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة
 من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها
 العربات على اختلاف انواعها وعظمها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت
 هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا
 الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دونداس
 وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه الفرس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تجتز
 عليه في مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيما
 في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول
 الى تلك المستويات أو تفريغ شئ من العربات لاجل عبور الجسور حتى
 يسهل النقل عليها كالسكة الافقية الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ المرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث)
 حائزا موضوعا بهذا انثناءات اخدود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة
 مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة
 مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

(الدرس الثاني عشر)

في بيان البرية والاتواء والخيال والخابور وسائر الآلات

التي من هذا القليل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حتى المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر
 من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعقنه بالخطوط والسطوح
 الخنزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص
 الهندسية تذكرها المسبق فتقول ان الخط البريقي او الخنزون الاسطواني

هو كناية عن خط منحني مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هنالك خطا مستقيما له ميل ثابت ويتحرك على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ما دلا بالنسبة للرأسي في سائر نقاط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يتركز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحرك في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماسية للسطح الحلزوني

وليكن \overline{AM} (شكل ١) كناية عن انفراد الاسطوانة التي تصنع عليها برمية مثلثية (شكل ٢) او مربعية (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو $\overline{RB} = \overline{ST}$
 $\overline{DD} = \overline{XX}$ الخ ثابت

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود او الهبوط على احد هذه الخطوط كخط \overline{MM} مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة \overline{CH} حدث هذا تناسب وهو نسبة قوة \overline{CH} الى نقل الجسم كنسبة \overline{MO} الذي هو ارتفاع خطوة البرمية الى نسبة \overline{OM} الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البرمية

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البرمية فنقول ان البرمية توضع في بيتها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يوجد فيهما من الاسطوانة والخيوط فتارة يثبت في البيت المذكور طارة ذات مماسات

لتدويره كما تدور طارة المنجنون وتارة يثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبه
بقضبان المنجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتنفون بجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة
مفتاح تجو يقه مربع كخبويف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين
(اي جهة اليمين والشمال)

وهناك بريعات وبيوت بريعات تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)
(كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالا من غيرها
ويوجد ايضا بريعات وبيوت بريعات تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق
بريمة دائرة الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو
ما يتقدم فيه البريمة تارة وتتاخر اخرى بدورانها في ذلك البيت الذي لا يتقدم
ولا يتاخر لثباته وتكون القوة حينئذ ثابتة في احد طرفي البريمة وهذا الطرف
الذي جرت العادة بجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران
بدون تقدم ولا تاخر وانما يثبتها هو الذي يتحرك بطولها
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة متعكسة من
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى
المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره هو
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذا كانت القوة مضروبة في المحيط الذي
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر القوة
في نهايته طويلا يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة
فاذا لم تكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لم أن يكون في بعض احرائها

فراغ من البريمة ويثبتها وأن تطوى أو تفرد الخيوط المجنوعة في البعض الآخر لاجل حصول التحكم فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتصميمها على غاية من الضبط والاحكام
وإذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل إبطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى يثبتها نوعان

فالنوع الأول منهما يتلف الخيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للمحور وهي قوة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع أو في حالة الجذب وهذه القوة تحمل الى عدة اجزاء يمكن اعتبارها كنقطة تماس بين البريمة وبينها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقاط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقدارها في صورة ما إذا كان عوديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها إلا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بإحدى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر يمكنه بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوع البريمات السابقين يتمايزان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الأول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من المجهودات الواقعة عليها والمتاومات التي تضربها تلك المجهودات متوسطا بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالبنقس والزان وخشب الكمبرى مما تكون اجزائه متحدة اتحادا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن وللبريمات المعدنية منفعة عظيمة وهي قابليتها لأن تتحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كأفي البريمة التي يستعملها مجلد الكتب لضغط أوراقها وكذلك البريمات الرافعة فإن الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وممتدة على شكل الهرم الناقص المربع الذي تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهي متحركة بذراع او ذراعين من الرافعة (راجع شكل ٤)

واذا كان المطلوب ضم جسمين صلبين الى بعضهما والصاقهما الصاقا تاما لم تقبهما بمسمار او نحو (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامسالة وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المعمار المعروف بالقولوز فاذا ادخلنا المسامير في الثقب نفذ من الجسمين المطلوب صهما وصار بمنزلة البريمة التي في داخل بيتها ثم يغلق هذا البيت بفتح مربع شبيه بالفتح الذي تقدم ذكره في هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية وشم بريمات خيوطها مرفقة منفصلة عن بعضها كبعض يابات العربات المعروفة بيابات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولا مانع من أن نعتبر البريمة كاسطوانة مخرسة معدة لا يصلح الحركة الى الطارات المخرسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية ونستعمل هذه البريمة في كثير من الآلات كالالة المعدة لتحريك السفود وربما التبتت بالمنحنون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المخرسة واصقها بها بواسطة التعميق كما في شكل ٦ وبهذه الوساطة تنتقل الحركة من محور س الموازي لمستوى المسقط الى محور آخر عودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولكن ف هي القوة الواقعة على ما نؤيلة ش ع في طرف ذراع رافعة ش و ف هي القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى الطارة المخرسة التي نصف قطرها يساوى م و ر هي المقاومة المؤثرة في طرف ذراع رافعة و هـ فيحدث

أولا ف $\frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف وثانيا ر} = \frac{\text{م}}{\text{و}} \times \text{ف}$

فاذن يكون $\text{ر} = \frac{\text{م}}{\text{و}} \times \frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف}$

ومن هذا التساوى تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثانى من نوعى التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولاجل الوقوف على حقيقة نفرض عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التى يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتها قوتى **ف** و **ر** (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والدائرتين في جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا وكان لا يوجد في الالياف صلابة نامة فانه يقع عليها تأثيرها تين القوتين فتدور احدى قاعدتيها من اليمين الى الشمال والاخرى بالعكس ونفرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادة على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة حاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثانى في زاوية يكون فيها دوران الثانى بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالقط التى يتكون منها في مبدأ الامر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزوى بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على نقط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فاذا لم تكن الالياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها او كان لا يمكنها الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالتواء الذى يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التى تعرض للتواء من الاسطوانات المختلفة انظر التجانس الماتة فالجواب اننا نفرض حل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جدًا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السمك الصغير
جدًا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول ونوقع عليهما في مستوى
قواعدهما قوى مماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك
التواءهما ويلزم اتحاد القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء
الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي
حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسبًا لمحيط القواعد فيلزم اذن
استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين
ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المجوقتين الرفيعتين جدًا بحيث لا يحدث عن
اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوَّف وتوهمنا أنه مقسوم الى اسطوانات
مجوَّفة متحدة السمك والمركز وفرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من
نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى
سهل علينا بعد حصول الالتواء أن نعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف
مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء
يحدث عن كل ليف لاجل حل التواءه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة
المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع
رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم
استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من
ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للاسطوانات به ادرجة من الالتواء
مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينرسي قواعدهما بالنسبة
للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لمسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع
نصف القطر فاذا كانت انصاف الاقطار هي

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	الخ
١	١٦	٨١	٢٥٦	٦٢٥	١٢٩٦	٢٤٠١	٤٠٩٦	٦٥٦٣	١٠٠٠٠	الخ

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن بحصيل درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوى التي تؤثر فيها لاجل التوائها
 وإذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في نصف قطرهما المرموز اليهما برمزى
 $\overline{ر ر}$ (شكل ٨ و ٩) وواقعا على احدهما قوتا $\overline{ف}$ و $\overline{ف}$
 المتساويتان وعلى الاخرى قوتا $\overline{ف}$ و $\overline{ف}$ المتساويتان ايضا لاجل
 حصول الالتواء فيهما فحيث ان بعدى هاتين القوتين وهما $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$
 متساويان حين يكون

$$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{مسطح م م ضه} \times \overline{ر} : \overline{مسطح م م ض} \times \overline{ر}$$

تكون زاويتا الالتواء وهما $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ متساويتين لان $\overline{و و}$
 هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{م م} : \overline{م م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$$

فاذا جعلنا $\overline{م م} = \overline{م م}$ ولوينا الاسطوانة الغليظة حتى نوصل ليف
 $\overline{خ م}$ الى $\overline{خ ن}$ حدث من هذا الليف مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م م}$
 الزاوية التي تحدث من ليف $\overline{خ م}$ مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م م}$ ولنكن
 $\overline{ف}$ هي القوة التي لا بد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه $\overline{خ ن}$
 فيحصل هذا التناسب وهو

$$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{م م} : \overline{م م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$$

ويؤخذ من ذلك أن

$$\overline{ف} = \overline{ف} \times \overline{ر}$$

ولكن $\overline{ف} = \overline{ف} \times \frac{\overline{مسطح م م ضه}}{\overline{مسطح م م ض}} \times \overline{ر}$

فاذن يكون $\overline{ف} = \overline{ف} \times \frac{\overline{مسطح م م ضه}}{\overline{مسطح م م ض}} \times \overline{ر}$

فاذا كان ميل $\overline{خ م}$ يـكفى في انحلال او انفصال الياف الاسطوانة
 الصغيرة من بعضها تحصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل $\overline{خ ن}$ الحادث

من قوة ف فاذن تكون قوتا ف و ف الحادث عنهما انفصال
الاسطوانتين المختلفتي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار
ومتى عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ما مثل هذا الحاصل من الاهمية
في تعيين ما يلزم من الابعاد لاعمدة الآلات كاعمدة المنجنون والمعطاف والسهم
الذي يستعمل في نقل قوة الآلات الادروليكية والبخرية وغيرها وليس لقوة
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجوف وطبيعة كل نوع
من الاعمدة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة
عظيمة بخلاف وقت القيقظ واليبوسة فان القوى بآثيرها تجبرها على الالتواء
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة عملت
في شأن التواء الاخشاب تركاها هنا خوف الاطالة

(بيان التواء الخيال)

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة
من خواص الخيالات فنقول
قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي
يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منثنيا انثناء حلزونيا وأن محور
هذه الحلزونيات هو عين محور الحبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله
على بعد واحد من محيط الحبل المفروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد
واحد من هذا المحور لها طول واحد بين القطاعين العموديين على المحور
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن أ ب ش د
و أ ب ش د و أ ب ش د الخ (شكل ١٠) مستطيلات
تكون فيها اطوال أ د و أ د و أ د بالنسبة الى ارتفاع أ ب

المساوى لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات
الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب
خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط
كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزوني على المحيطات
الموجودة في الالتصاقات وهي د و د و د و د الخ وهذه الخطوط
المائلة كلها غير متساوية وتزيد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط
ا ب العمودي على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية
ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن
التزحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو ا ب وامتداد خيط
الخيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جزا الخيط المتحدان في الطول بين
قطاعي ا د و ب د كناية عن ا ب و ب د ولاجل حصول
التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة
وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم اولاً انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة
وثانياً امتداد جميع الخيوط الخارجة وماجاورها وثالثاً موازنة مقاومة المد
لمقاومة الانطواء

ولنفرض حبلاً مصنوعاً بهذه المثابة يكون مشدوداً بقوتين واقعيتين على طرفيه
فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية
فانها تستعمل من القوى حينئذ تعود به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه
القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تنقوى بالانطواء فلا يبقى
حينئذ ما يقاوم مد الحبل الا الالياف الخارجة وماجاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المد
والانقطاع الاجزاء واحد من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط
في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المد الدرجة معينة فان الخيوط الموجودة
خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل أن
تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المتانسة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

وبمعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمدد دفعة واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشهد بقدر غلظ الحبل حيث أن هنالك فرقا كبيرا بين مدّ الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليز في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أول من اشتهر هذه الآلات بمملكة فرانس ثم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية في فن البحارة الفرنسيين

فمن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون ليرو و هوبيرت في مينى بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة اقوى وامتن من الحبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة وبجعل القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقيص اقطارها فنقص ابعاد البكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا ومما نؤمله أن مينات التجارة الفرنسيين تؤثر في صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجحها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

(بيان الخابور)

الخابور منشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو **هـ** (شكل ١١) ليفصل بين جسمين او جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بمجد الخابور القاطع واما واجهة **ا ب د** المقابلة للحد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجهتين على واجهتي **ا د هـ** و **ب ث هـ** اللتين على عین الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين
الفرجية والمقاريض والسيوف والبلطخواير مستعملة دائما في زمن
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازق والمجارف
والقاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة
واحدة كقوة ك والمطلوب الا ان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال

على اي وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين
بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان نقطتي ه و ف
يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يحتل التوازن فاذا نكح اولاً

قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على بث وثانياً
يلزم لاجل حصول التوازن بين قوى ح و ع و ك الثلاثة
المؤثرة في خابور ابث أن تكون مجتمعة في نقطة واحدة كنقطة و

وأن تعتبر احداها محصلة للآخرين فاذا رسمنا على و غ و و ك
و و ح الممتدة شكل و ح غ المتوازي الاضلاع فحصل معنا
هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح
وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و ح الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث
ابث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث
فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومة $غ$ و $ك$ المناسبة لهذين الضلعين متساويتين
ايضا كما هو الواقع في اغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط
والسيوف من حيث هي متماثلة وحينئذ تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة
لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع
وكما كانت الخوابير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور
على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة
فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون
الخابور حادا وكان ايضا يكفي في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة
بقدر ما يكون الخابور حادا

واذا وقع على نقطة $هـ$ او $ف$ قوتان بدلا عن قوة $هـ$ غ او $ف$ $ك$
لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي $ا$ $ث$
و $ب$ $ث$ المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة
وذلك بأن نصل بين $هـ$ و $ف$ (شكل ١٣) اللتين هما نقطتا وقوع
مقاومتي $هـ$ غ و $ف$ $ك$ بمستقيم غ $هـ$ $ف$ $ك$ ثم نسقط $هـ$ غ
و $ف$ $ك$ على هذا المستقيم بعمودي غ غ و $ك$ $ك$ فيكون
 $هـ$ غ و $ف$ $ك$ هما القوتان المبعدتان لنقطتي $هـ$ و $ف$ عن
بعضهما

ومتى كان ضلعا $ا$ $ث$ و $ب$ $ث$ متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومة $هـ$ غ
و $ف$ $ك$ متساويتين ايضا ويحدث من خط $هـ$ $ف$ واتجاهي $هـ$ غ
و $ف$ $ك$ زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة $هـ$ غ و $ف$ $ك$
الجانبتين متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة $ح$ (شكل ١١) عمودية على الحد
القاطع وهو $هـ$ $ف$ أن الخابور تدفعه قوة $خ$ الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة ح عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة خ عليه يتحرك في جهة الحد القاطع

وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة
تواصلا تاما وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لجنسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر
تضاريسها الصغيرة جدا التي لا تدرك غالبا بمجرد النظر كالخوابير الصغيرة البارزة
الغائصة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط كثيرا او قليلا فان هذا الجسم
يقع عليه تأثير الضغط وترداد المقاومة كثيرا حيث بها تكثر نقط تماس الخابور
بالجسم المذكور

واذا زحلق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا كل تضريس من
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقر يغوص في ذلك الجسم مع حصول
الفائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس
حادة كثيرا او قليلا فاذن تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كناية عن
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال الفنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاما تاما بواسطة الصناعة

وهي المنشار بأن نفرض لوحا معدنيا كلوح أ ب ث د (شكل ١٦)

يكون ضلعه وهو ث د مصنوعا على وجه بحيث تكون زواياه

وهي أ و ا و ا الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتى ح و ر

المتساويتين لاجل شد المنشار ودفعه على جسم م ن واما القوة الثالثة

وهي قوة ح التي هي في الغالب كناية عن ثقل المنشار فان تأثيرها يكون

على اتجاه عمودى وهذا المنشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر

الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بمنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل

عظيم جداً كمنشار **أ ب ث د** (شكل ١٦) استحـال تقسيـمها وتعذر
 ما لم يتوصل الى ذلك يـبذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركاً متردداً
 يضاهي تحرك المنشار

ولست صورة الزوايا البارزة المسماة بأسنان المنشار المرموز اليها بحروف
أ و آ و متحدة بل تنبوع في **كل** منشار بحسب طبيعة الاجسام
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جداً وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة
 ومتقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لـأن ترفع في كل حركة من
 حركات المنشار جزءاً صغيراً من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام
 دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على
 شكل منحن كافي شكل ١٧ عوضاً عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث
 مستو وليس للمنشار المعد لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان
 اصطناعية بل هو كناية عن صفحة من فولاد تشد وتدفع على الكتلة التي يلزم
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معدني احرفه الحادة تعمل عمل الخواير *
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون
 صفحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن
 ادخال الرمل او السنفرة الى حدة المنشار القاطع بوجه مستحسن

ولا يقتصر في الخواير المضرسـة على جعل حدها القاطع مستقيماً بل قد يكون
 مستديراً وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهي بذلك شبيهة
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جداً (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محله وفي
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفحة من الفولاذ مركبة على
 محور من الحديد

وأما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تتحركها
متردد وذلك أنها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خالياً عن الفائدة
بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير في جهة واحدة فإن زمن الحركة فيها
لا يخلو عن الفائدة

ويستتر في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى نعظم
فائدة تأثيرها وإلا لاحظ حينئذ أنه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلاً على
المشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم إن محاور المناشير
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الأفقي من التازجة ومعشقة بها
بحيث يكون مستوى المنشار عموداً على مستويها فإذا اراد عمل منشورات
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فإن قطع الخشب المطلوب نشرها
توضع على وجه بحيث تكون إحدى واجهتيها وهي المجهزة للنشر متحركة
على مستوى التازجة والآخرى متحركة مع تماسها الدليل ثابت مواز لمستوى
الطارة على بعد لاثنين وبقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداية أن
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعاً موازياً للواجهة المستوية المستندة على
الدليل فإذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل
واجهة أخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة إلى عمل
منشورات مربعة أو مستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة

الثامة إذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولا مانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والظو بحية وسائر
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا
وكنت أول من تقلها إليها من مملكة الانكليز

ولأبأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة
لنشر أخشاب الطبق كخشب الكابلي فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة
عن طارة قطر هاستة امتاراً تقريبا متركبة من فصالب رفيعة جداً في الجهة
العمودية على مستوى المحور وعريضة جداً في جهة هذا المحور مبتدأً منه

واحدة في تناقص عرضها شيئاً فشيئاً كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط
محاط بعدة قسي من صفائح الغولاذ مضمرة يتكوّن من توصلها المنشار
المذكور ثم ان تلك الطارة تتحرّك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي
مثلاً المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة
الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءاً من سمكها
يبلغ ٢ ملليمتر تقريباً وينتج هذا الجزء قليلاً بمجرد انفصاله بحيث يكون
على شكل محدّب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية او الواح
خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبقات التي
عرضها غالباً مترو نصف تقريباً واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسى قرياً من مدينة لندرة
وكثير من الالات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالمناجل والمقاصل والمبارد
وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها
وهو **ا ب ث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسمان هي كتابة عن
خواير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدّها القاطع مع المحيط
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصود او الحشيش
اليابس قابلت الالة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان
التحرّك سريعاً جداً اخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية
وهي **ب ب** بدون تكسر والاوجب أن يبذل في قطعها قوّة عظيمة بتحريك
الالة عمودياً على محورها ولا يخفى ما في هذه الحالة من المشابهة البينة بين تأثير
المخل والمقصّل والمنشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القبيل سيوفاً حدّها القاطع ذواسمان وتضاريس وهي
اسلحة فظيعة عظيمة التأثير لا تلايم الا اهل التبرير والخشونة
وما يسمى عند اهل المشرق بالسأكريّة له تأثير كثر المنشار المستدير فترى
الرجل من اهل آسيا بدلاً عن كونه يطعن بها عمودياً على حدّها القاطع يقبض
عليها ويجعلها على اتجاها يده حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تغوص في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان الغائصة كمتأثير اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة أعمو وأعرض مما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحركات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح مضرسة لها اسنان كالخواير الصغيرة المتساوية التي تكون عادة مستوية الوضع اى مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحرك زاوية تبلغ ٤٥ درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك السطح من الخواير حزوز متساوية يعقبها ملموسة السطح وصقلته في رأى العين وذلك لشدة تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المبارد ما كان له اسنان كثيرة وصغيرة جدا اذ به ينقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثروا يقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك تجويفه بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للنظر ان السطح المبرود على غاية من الصقالة ومما ينبغي التنبيه عليه أن المبرد لا يتحصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع الحزوز وتزول خشوتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحركات ليست على بعد واحد من بعضهم فلا يمكن أن تصقل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض صقلا مستويا فلا بد في جودة الصقل من أن تكون المبارد والمحركات محكمة الصناعة ومنظمة انتظاما هندسيا

ومما ينظم في سلك المبارد والمحركات الكردات وهى عبارة عن خواير متفرقة عن بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبه باسنان المبارد التي على وضع مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة وانما تستعمل لتنظيم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في النسيج غير المنتظم الحادث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط


بواسطة تأثير ضغط خفيف

والشبيطة المعدة لتسريح الصوف المسماة عند العامة بالشيخنة تأثير كمتأثير الخوابير
ومن هذا القبيل ايضا الحدايد التي تطمر بها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح
مسننة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والفرش
والمقشات فتأثيرها كمتأثير المنشار وذلك كالخرق المعدة لحك الامتعة وتكميل
صقل السطوح

وكذلك المسلفة والمجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض * وهذا
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في صقل محصولات الصناعة اجسام متركبة بالطبع من اجزاء
صغيرة هي في الحقيقة خوابير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر
السن فانهم معدان اصقل السطوح ويزيد الثاني اى حجر السن باختصاصه
بسبب الآلات التابعة وما يوجد بسطحه المتبلور من خوابير العديدة يستعمل
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك ابحار
سطحها الاصطناعي مستوي واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

ولست ابحار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفنيته بل تقلعها وتطحنها
بتأثيرها الشبيه بتأثير خوابير وروعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح
المستوي من هذه الاحجار

ولما انهم ينال الكلام على خوابير المنشورية اى التي على شكل المنشور ناسب
أن نتكلم على خوابير الخروطية او الهرمية  المنقاش والمسامير وبعض
الاسلحة والآلات المستعملة في الفنون الحربية والمملكية فنقول اذا اريد
ادخال منقاش او مسمار مخروطي او هرمي (شكل ٢٤ و ٢٥)
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للانفراج الحاصل بين اجزاء هذا
الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد
اللازم لادخال المسمار او المنقاش يكون مناسباً المقدار ينرسى الجزء المفروض

غوصه من ذلك المنقاش او المسمار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسمار
او المنقاش المعتبر كهرم او مخروط

ومن الخواير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة
في الصناعة كالسفود والخنجر والسنبعة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش
وما اشبه ذلك ويشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خواير متنوعة الشكل
لاجل الافتراس والذب بها وذلك كالاسنان والقرون والاذافر والمخالب
ونحوها وثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنایع تركيبا يدعى لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث
ان كلا منهما على انفراده يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة
الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمنقباب
والمسمار ومنها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدا
جدا وثبتت هذا الخابور على صورة الخنزون حدث من ذلك الآلة المعروفة
بالبرمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصلى منها الدخول في السداداة وفي مسحة
الاسلحة النارية

ولاجل تحصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ
انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البرمة
او كاشة المدفع منقبابا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول
هذا الخابور المفروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزأ عظيما من القوة
وهي مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معاه اهمية عظيمة

وهو أكثر استعمالا من الاول ويدخل فيه المشاقب الكبيرة والمخاريز ونحوهما (شكل ٢٦ و ٢٧) فإذا فرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك فتتحرك كامستديرافى كل وقت يمكن أن نعتبر أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة كلما كان الخابور فى زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب حركته وإذا فرضنا أن الضلع المنثني انثناء حلزونيا بدلا عن الضلع المستقيم فإن الحد القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك الحاصل له يقطعه قطعا مائلا ويكون تأثيره كمتأثير الخابور المستقيم الذى يوجه اتجاهها مائلا كالشواكرو فى هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة حتى ينشأ عن حلزون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنثنى عليها هذا الحلزون زاوية كبيرة فإذا اريد عمل مشاقب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل حده القاطع حادا جدا واحدا عنه مع ضلع الاسطوانة المجمولة محورا لهذه الآلة زاوية كبيرة

ويجد فى المشاقب والمخاريز فراغا عظيما فى خلال كل خطوة من خطوات البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة ومتى ثقت تلك الآلة الجسم المطلوب ثقبه انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الحلزون وتبصر فى الفراغ الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة السلكية التى يثقبها المثقاب او المخراز وعلى انها تكون ممتدة او منكماشة بمجرد انقصالها وهذا الانكماش يضر بتأثير الآلة ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فنجد المخراز او المثقاب كى تخرج الاجزاء المنفصلة ثم نأخذ فى الثقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا

وقد عمل المهندس استفان بريس فى الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيل وبر الجوخ عمالية بدعة تتعاق بالبريمة والخابور واقل من جلب هذه الآلة الى المملكة فرانساً هما المهندسان المسمى كل منهما بويارد وقد حسنها المهندس يوهن كوايمر تحسينا بينا ولاجل تصورها نفرض آلة قاطعة

كالوسى معوجة على صورة الحزون ممتدة وملتهفة على محيط اسطوانة مجوفة ونضع بمحاسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفايح الحزونية صفيحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفيحة بالقرب منها جذا بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز ايضا للصفيحة الثابتة ومحور الاسطوانة فتجد احد طرفي الجوخ عند مده جذا مشدودا ومائفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون منحلا من فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفيحة الثابتة يلاقى صفيحة حلزونية تنقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفيحة وتزىل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر حتى جاوزت الآلة الحزونية عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حلزونية ابداً حركة من الصفايح الحزونية

(الدرس الثالث عشر)

(في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك)

اذا كانت الاجسام مصقولة صقلا تاما امكن أن تترحل على بعضها بدون أن يعرض لها ادى مقاومة من تماسها ببعضها فاذا يجرى هنا جميع النسب البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلما منع حينئذ من تحرك الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادى مقاومة تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حينئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم معرفة قيمة مقدار الاحتكاك ووضع هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا

في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتونس وموتشيبورويك
وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الانهم
لم يوفوا بما حثها على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجارب بديعة
وتوضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغي الرام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي يشرعون
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد
النظريات بل لابد في ذلك من ضمنية ذلك التجارب اليها

فلنفرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يتزحلمان على بعضهما جسم
موضوعا على مستوئائل ميلان كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التثاقل مع سرعة معجلة تكون
نسبتها للسرعة المعجلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا
فمن ذلك الورق والريش والدواة التي توضع غالبا على لوح التختة المائل بدون أن
تترلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداية مقاومة الاحتكاك اكبر من
قوة التثاقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلك
الاجسام شيئا فشيئا فاننا وصل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام
وهو وضع يكون فيه تثاقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك
فعلى ذلك لا مانع من سلولة هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانها لا تأخذ
في التحرك عليه الا اذا املناه اكثر مما اذا وضعت على مستوئيله معلوم وحصلت
املته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستو

مادى فانها تنكسب بذلك نوع التصاق به تزداد المواضع التي يلزم الطهور عليها والظفر بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آتته
فنعول

ان تلك الالة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها لوحان كواحي
م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يزيد
في الطول على التازجة وبين النهايتين البارزتين من احد طرفي اللوح قرص
بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى النهايتين البارزتين
من الطرف الاخر منحنون افقي كمنحنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشيبية من اللواح كخشيبية ح ح
جيدة الصقل يزيدان عنها في الطول نحو متر ونصف وهي التي تتزحلق
عليها الاجسام التي يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن
الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على
اطرافها حاملتا ث و ث المعدة احدهما لامسك طرف الحبل الذي
يلتف على عمود المنحنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة
والثانية لامسك طرف الحبل الذي يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا
الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اثنان بقدر
ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر
في هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح
الاختبار نقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا
اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط
وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدّة ثابته او ثابيتين او ثلاث

نوان الى عشر ثوان فلا بد في تحريكها من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل عقب دقيقة في بدء تحرك النقلة وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا او قليلا يسمر باسفل النقلة منشوران من البلوط كمنشوري ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حينئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحرك النقلة ولا فرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقلة بمجرد وضعها على لوح الاختبار او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك الامن ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريرا وحيث لا يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقلة بجميع مسطح قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاحمال كبيرة لم يظهر الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريرا مهما بلغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقلة بمنشورين من خشب الراتنج

واذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فان مقاومة الاحتكاك تصغر ما يمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة

فاذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الاصلية بواسطة تأثير جل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

واذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تترحق عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما دفي مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة باثروضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار ما لومضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تمغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهي أن يسحر منشوران باسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذي يجده منه الانسان عند المس لطافة ونعومة كالقطيفة هو في التصاقه ببعضه اشد بظئامن سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوي ٢٢ كيلو غراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلو غراما الى ٨٣٠ كيلو غراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المختصة ولندكر لك هنا ما بين نقل النقالة وجليها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

عند احتكاك البلوط على البلوط	٢٣٤ : ١٠٠
وعند احتكاك البلوط على الراتنج	١٥٠ : ١٠٠
وعند احتكاك الراتنج على الراتنج	١٧٨ : ١٠٠
وعند احتكاك الدرر على الدرر	٢١٨ : ١٠٠

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون ترحلق الاخشاب على بعضها في اتجاه عروق الخشب فقد وجهت في تلك التجارب المتواليات عروق منشوري ط ط المسمرين باسفل النقالتين اتجاهها وعموديا على عروق خشب لوح الاختبار (شكل ٥) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب المتاسة تكون

٣٨٥ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٣٦٧ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتاسة متجهة على بعضها اتجاهها وعموديا عن كونها تترحلق على عروق قطعتين متاستين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب (شكل ٦) لا بد فيه من مكث الجسمين متماسين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تاخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

إذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي ١٠٠ : ٥٠٠

وبعد ترحلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والصقل ترحلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة وفي هذه الصورة نظهر من اول وهلة اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا المنوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

احتكاك الحديد على الحديد } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٤٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٣ : ١٠٠

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

احتكاك حديد على نحاس اصفر } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٤٠٠ : ١٠٠

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما يمكن بأن جعل مثلاً على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي الضغط مقاومة الاحتكاك

إذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠
وإذا كان ٤٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٠٠ : ١٠٠

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تتحرك على قاعدتي الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يوصل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاجار والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لاتزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تنقيص مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تنقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام اوسسته كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه اولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح النحاس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريرا

وقد وضع الدهن في التجارب المنقذمة مدة يسيرة ووضع ايضا في ما بعده من التجارب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الآن دسامته قلت عما كانت عليه اولا وكانت ايضا مدة استقرارهما تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر بقدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخر بين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ ملليمتر تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين المتماسين الذي هو كناية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقلة بدون واسطه أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهمل بالنسبة للاجمال العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة اذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما اذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة فتى كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى مقاومات الاحتكاك اصلا مهما كان امتداد السطوح المتحاسة وهذا اذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا بقدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فاذا لم تتحرك النقلة الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

واذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبدء الامر تقريبا وكانت مساوية لـ الضغط وربما تغيرت من $\frac{1}{4}$ الى $\frac{1}{5}$ اذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الحديد اعظم نفعا في صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفي في النظر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لابد ايضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك اقصى درجة تستبدل بالحبل والكنة (شكل ١) الحاملة اثقالا بواسطتها يكون للجسم سرعة هائلة فيحصل الاحتكاك مع الجفاف بدون دهن وتحرك النقلة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجا من

الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة سرعة تكبر شيئاً فشيئاً
 وإذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة لثقل يطالب معرفة
 تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي اتقالات متتوعة ثم تحرك النقلة تارة بدق
 المطرقة دقائق خفيفة وتارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد
 في احداث طرف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية
 النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر
 مدة التحرك بـ كيفية ترجع على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد
 علمها وهي كيفية البندول الذي تمكن كل رجة من رجانه نصف ثانية
 ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدء تحرك النقلة ثم تستعمل في اثناء ذلك
 قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذي
 لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ ستتمتر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقر بيا غير أن الجسم المتحرك بقوة
 مجله ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركه ازمته
 تكون نسبتها الى بعضها :: ١٠٠٠٠ : ٢٠٠٠٠٠ فتستغرق
 النقلة حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة
 و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقلة الناشئ عن القوة المجله الثابتة وهي قوة تشاقل
 الاتقال منتظم المجله وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم في كل وقت
 الا كمية مناسبة من القوة التي يزيد بها التشاقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك
 كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتماسية

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتماسية كبيرة فان الاحتكاك يزيد بازدياد
 السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتماسية صغيرة فان الاحتكاك
 ينقص قليلا بانقصاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات
وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول
بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب
في التجارب الستة الالية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل
في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك
احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٠٥ ستتم امرارها بحمل بهذه
المثابة الالية

نسبة	ضغط	نخبة
٥,٧	٢٥ كيلوغراما	تجربة اولى
٩,٤	١٨٨	تجربة ثانية
٩,٥	٢٩١	تجربة ثالثة
٩,٤	٨٢٥	تجربة رابعة
٩,٢	١٧٨٨	تجربة خامسة
١٠,٤	٦٥٨٨	تجربة سادسة

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقاله هو عين اتجاه عروق
خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقاله اتجاهها عوديا على عروق
خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك
الا تغير قليل جدا سواء كانت السطوح المتماسمة متسعة او كانت قضايا ضيقة
كحدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عبارة بديعة
لابأس بايرادها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة باسفل النقاله تترحل
على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك
مضغوطة حتى تقطع النقاله مسافة بقدر طولها وحيث ان طول النقاله ٤
دسمترات فاذا كان التحرك مثلا ٤ دسمترات في كل ثانية فان كل نقطة من
نقط اللوح تضغط مدة ٤ ثوان وحينئذ يحدث عن عدم تساوى السطوح

الناس عن التصاقها ببعضها مقاومة بها بتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح وتحن جزء منها على ذلك اذا كانت النقلة المستندة الى زوايا مستديرة تترك على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالمناسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقلة فان كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقلة لا تكون مدة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي بغيره بينما فيزم ادن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما اذا كان امتداد السطوح متناهيًا وحيث أنه في كتا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلاً في بعضه بدون مانع وجميع ما سلفناه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فثبت من مبدء الامر باسفل النقلة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط وايا ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريباً وتكون نسبة ضغط النقلة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المتماصة التي تضعها اقبال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يطل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب التي ذكرها تكون الاجسام المتماسكة مغمورة بالدهن
والذي يلائم تقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشحم ودهن الخنزير
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام
اللينة الرخوة كان تلطيفها لاحتكاك السطوح انما هو بملء قبحا ويق
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخوة تكون دائماً رديئة
جدا بالنسبة للانفعالات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماسكة زوايا
مستديرة نقصت الادهان احتكاك النقالة قليلا واذا مررت النقالة التي لها
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء ببعضها المقاومة
واهمية وقد ازداد الاحتكاك ازيدا اعطيا في عدة تجارب تكرر استعمالها
بدون تبديد دهن ولنذكر لك هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالبا عدم ضبط
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما
وصقلها بالفارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات
وهما جافان فائت مع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط
وبه يزداد الاحتكاك ازيدا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا برهين نظرية تحقته غير أن النقالة
اذا ترحلت بمعاونه الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية
وكان عليها انقال جسمية كان الاحتكاك دائما مناسبا للضغط تقريبا وبذلك
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب
الآتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقالة التي استعملت

منذ ثمانية أيام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن بالشحم المتجدد في أغلب المرات أكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا مربع ضغط عدة فئا طير

فظهر في المحسنين الأولى من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعدهما دونها في الصبغ وكان كل من النقالة ولوح الاحتبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل الذي يقبله خشب البلوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي عملت في شأن سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة أولى} \quad 27,6 = \frac{3200}{110} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad 20,8 = \frac{1600}{76} =$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad 23,6 = \frac{1000}{36} =$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad 21,0 = \frac{400}{21} =$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad 18,0 = \frac{200}{13,0} =$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad 7,7 = \frac{0}{6,0} =$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين أحدهما المقاومة الثابتة الناشئة عن التصاق اجراء الشحم ببعضها واستداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة عن مجرد الاحتكاك فاذا طرحنا هذه الكمية الثابتة حدث

$$٢٨,٧ = \frac{٣٢٥٠}{١١٣} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} \quad \text{تجربة أولى}$$

$$٢٧,٩ = \frac{١٦٥٠}{٥٩} = \quad \text{تجربة ثانية}$$

$$٢٧,٤ = \frac{٨٥٠}{٣١} = \quad \text{تجربة ثالثة}$$

$$٢٨,١ = \frac{٤٥٠}{١٦} = \quad \text{تجربة رابعة}$$

$$٢٩,٤ = \frac{٢٥٠}{٨,٥} = \quad \text{تجربة خامسة}$$

$$٢٨,٦ = \frac{٥٠}{١,٧٥} = \quad \text{تجربة سادسة}$$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجارب كلب المتواليات التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك معادن على معادن مدهونة وذلك لايخرج عن الصور الاتية وهي

اولاً أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها ونهايتها الكبرى

وثانياً اذا كانت الاخشاب مترحلة على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسباً للانضغاطات الا أن شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثل نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وترحلةهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكساف السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المتزحلقة على المعادن بدون دهن مناسباً أيضاً للانضغاطات إلا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار أو كان المطلوب بقاء أى سرعة منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالأخشاب والمعادن المتزحلقة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لأن شدة احتكاك تلك السطوح بالنظر إلى زمن الاستقرار تزداد مع البطئ ولا تصل إلى حدّها إلا بعد مضي أربعة أيام أو خمسة وربما زادت على ذلك لكنها في المعادن تصل إليه بعد مدة من الزمن وفي الأخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا الازدياد يكون أيضاً بطيئاً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير البينة مساوية تقريباً للمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح أو انفصالها عن بعضها بعد مضي ثلاث أو أربع ساعات من الاستقرار وليس ذلك عاماً في جميع الصور فإن السرعة في الأخشاب المتزحلقة على بعضها بدون دهن وكذلك في المعادن المتزحلقة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاك كما لا تأثيراً هنا ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجملة فالاحتكاك يزداد على وجه التقريب الحسابي بازدياد السرعة على وجه التقريب الهندسي ولنذكر لك قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأق الاحتكاك إلا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيها الالتصاق التأثيرات هنا لأن الاحتكاك في سائر الأحوال مناسب تقريباً للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقاط التماس وعلى حسب امتداد السطوح ومع ذلك فلما أن هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية بذلنا الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوى نحو ٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اهمال المقاومة الحاصلة من هذا الالتصاق كلما كثرت الكيلوغرامات على المتر المربع

ولست السطوح فيما ذكر من العمليات متغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيرا لا بد منه في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياض ممتدة واجزاء ليننة مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء متزوية كروية صلبة غير قابلة للاثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الياض المتنوعة التي يتركب منها الخشب فيسهل انشاؤها في سائر الجهات

ولاجل تقريب ما ذكر نقول ان الياض التي تستر سطح الاخشاب تتداخل في بعضها كشعور الفرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا بد منه في رحلة احدى الفرشتين على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل الفرشتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من الفرشتين عند ترابطهما على بعضهما تحرك اياتما كان

فلو وضعت حينئذ خشبية جيدة الصقل على اخرى تداخلت الياض التي على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الان رحلة الخشبية العليا على السفلى فان آليات هذين السطحين تنثنى على بعضها حتى تتماس بدون تعشق ومتى وصلت الياض المتماسمة الى هذا الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسلك الياض واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من قوة تناسبه حتى لا تعشق الياض التي تتزلق على بعضها بحسب زاوية هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على التزلق انعدم تعشق الياض

وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ فتميل تلك الالياف على بعضها حتى تتماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الآن هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسباً للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح المتماسية الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة ممكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند تزحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملحوظة وهي انه متى تزحلق قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت نقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتقاء السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان نقط تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تجد زمنا ترتخي فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات كبيرة كانت او صغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينة ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى المماس في نقط التماس فاذا تزحلق الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينة مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل تزحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن النقالة متحركة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا الذي ضروري لا بد منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك في السرعة الغير البينة مناسبا ايضا للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت النقالة بسرعة ما فحين ان تجويفات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسمك اليااف الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من اليااف فيلزم اذن انشاؤها انشاء جديدا حتى تجتاز ما بقى من الخشونات ويكثر انشاؤها كلما عظمت السرعة فاذا نيزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون انشاء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجد زمنا تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند ترحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق اليااف الخشب ببعضها ويزيل جزءا من مرونتها ولذا ذكر هنا ملحوظة مهمة لا بد منها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبيا على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في طرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تحرك النقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالنظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبيا الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالشحم واحدا دائما ويكون له ادرجة مامن السرعة
واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك جسم له ثقل مقروض يسير الى جهة الامام
وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير *
مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا
دحرجنا جسما مستديرا على جسم مستو بدلا عن سحبه بدون دوران زاد
مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال النقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن
فاذا فرضنا أن عربة ثقلاها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها عجلتان فان كانتا
مثبتتين في المحور واحتكاكا على ارض ذات احاديث من الخشب ولم يكن فيهما
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت
العجلة لاتدور الا بالاصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦
كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حينئذ أن المحور له قطر يساوى واحدا
من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة
من نقط بيت المحور المماس له تقطع سطح اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية
لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقطة المماسية للارض وحيث
لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوى واحدا من خمسين من
احتكاكها لو استعملنا بدل العربة ثقالة وزحلقناها على الحديد ومن هنا يعلم
ما ينقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من
الحساس لاجل لطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حينئذ في الظفر

بالمقاومات الظاهرة الامقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه
 المقاومة تنقص نقصا يدينا باستعمال سلك الحديد
 فاذا كان المطلوب نقل اجمال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلقونها
 على ملفات او اكر (شكل ٨)
 وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستومائل
 فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجرى على سكة من الحديد
 وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس
 بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى
 تقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها
 تلك المقاومات بقدر الامكان * مثلا اذا انتقلت العربات من سكة افقية الى سكة
 منحدره جدا لزم منعها عن أن تأخذ في سرعة ممجولة تكون عاقبتها خطرة وذلك
 يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخلى على
 احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه
 الصورة تبرى قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن
 تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معد في كزمام **ص** (شكل ٩) يتعشق بمحيط
 العجلة ويتوسط بينما وبين الارض ويكون ممسكا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة
 وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية
 استواء تاما بأن كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلامانع من أن العجلة
 تنفلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشد الخطر
 والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه
 خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه
 من هذه العجلة بواسطة برمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة
 احتكاك تناسبه ثم ينعدم تحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع
 من تحسينها وتلطيفها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة
 امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء منعها عن سرعة السير
او تلطيف ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة
زمام كزمام **ابث** (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبير
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والاخر
ملصوق بذراع رافعة صغيرة فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة
فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة
في التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر
احوالها عرفت في اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار اذ بدون ذلك
لا يمكن للشغالة الظفر بتلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا ببذل مجهودات
تكفى في ذلك والاتحركت تحركا تفهق ربا بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض
عظيمة واطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا في الطارات الكبيرة
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدوك بها منجنونات فيها مثل
هذا الزمام وهى معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد
تنزيل هذه البضائع من المنجنونات اقلنت منويلا تها دفعة واحدة فيهبط الحمل
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا بيده على
الذراع الكبير من الرافعة الواقعة تأثيرها على الزمام المذكور وينتظر الحمل الهابط
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك
يتكئ على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حينئذ وقوفا وقويا

(الدرس الرابع عشر)

(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها وتمددها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها تنقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من الميائات الكلية فنقول هناك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهناك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد انقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هناك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم أول مرة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطاً اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كالمرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيئاً فشيئاً بتكرر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا ينعدم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمناً طويلاً مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعاً بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاه مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدني فالتناضع على الفرخ او القماش
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وبقل
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرنين
على التوالي ويجرد ضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط
معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة
ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكفي
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط في تجويفات
اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من القنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والواقعت كلها على نقطة واحدة
فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خرطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم
الاعتناء به بالكلية فالتناضع بين هذا السطح وفكي الكماسة جسما رخوا
كالخشب والارصاص والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع ونحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك
الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون
ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة

وسيأتى في الدرس المعقود لاصطدام الاجسام اخبارا مثل هذه التأثيرات
في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحويلات السريعة او تلطيفها

واذا فرض أن قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم
عن بعضها فانهما يمتدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة
المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئاً فشيئاً حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرنة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكسمة او ممدودة وبالجمله فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عوداً تاماً اذا انكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جداً في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولية التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن ينتخب دائماً لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيراً

وليس في الاوتار المتخذة من التيل والحريز والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرهما بالنسبة لطولهما واتما فيهما قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيهما من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلاً اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فثانفتوت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبلاً او سيرا يكون له في الشد درجة معلومة ونوزع الشد توزيعاً منتظماً على جميع نقط ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يتأني ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني

الاحتكاك المحول المتحرك الى هذا القرص الثاني والطنبور الثاني وبلاستعمال
تنقص المرونة المضادة للشدود تناقصا تدريجيا فلذا كانت الحبال والسيور
المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة مرونتها لا تقاوم الاشياء شيئا ولا تمتد
الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي يسلكها
يجتنب هذا المدة (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار ممدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متطرا فامن
نقطتها ثم خليت ونفسها فانها تتحرك تحركا متريدا كثيرا او قليلا يعرف بتحريك
الاهتزاز فثبير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا
ازداد بالتدريج شدة التوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزاز
وانتقلت بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه
المناسبة ما يطرب الاسماع ويصلح لان يعد من ألحان المويستى وقد تعينت بالتجربة
النسب الحاصلة بين شدود التوتر اعني الاثقال المستعملة في تحصيل الشدة الذي
تحدث عنه الحان المويستى فعلى ذلك يكون تعيين الالحان في المويستى نتيجة
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وترا واحدا وفرضنا له طولا فان الاصوات في هذه الحالة
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والالات ذات الاوتار
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان المويستى وهي
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول
اذا نقص طول الوتر الباقي على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه
تكون حادة مرفعة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طولها فانها تكون
رخوة

ودوائر الاتالات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط نقطة
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقيص طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد اصوات مرتفعة قليلا او كثيرا وبذلك تزداد
الاكالات حسنا وجودة

ولما انهينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام
على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون
مرنة كثيرا او قليلا وبهذه المرونة تسهل صناعتها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط
النسيج ممدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان
عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج
الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك
خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى
عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا
طُرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها
الاسطوح منفردة بفرضها غير قابلة للتمد او سطوح لا تعود الى صورتها الاولى
اصلا بفرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء
تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين
وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة
الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريعا
لا سيما في المفاصل لم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن
تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضمها الى بعضها الى قوة معلومة
لا تتجاوز حدّا فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا
غير قابل للتمدد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد ابعاده هذا
اللباس المحيط به فلهذا كانت احزمة النساء الافرنجية والقفازات والجوارب
وسائر اجزاء الملابس المباشرة لجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن
أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانساني
وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المربعة
التي ليس لها الخاصية قبول كل خيط منها لئلا تصنع نسيجا تكون فيه الخيوط
على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها
فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المدا أكثر من النسيج الاعتيادي مع أن القوة
فيهما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع
نقطه المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج الجدول الذي يصير
بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا لصلابة تامة لسترا لعضاء الانسانية التي
تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضا هي تأثير الجدل وهو
الحادث من لف السلوك المعدنية لخالزوني لان هذه الخالزونات ينشأ عنها انفراد
عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا ينفرد فيلزم
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المدا يحدث عنها مدا وقبض
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط ممدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية
المنثنية اثناء خالزونيا والاشنطة الافرنجية المرنة ويايات العربات وما شبه ذلك
في كثير من الآلات

ولما كانت الحبال عبارة عن خيوط منثنية اثناء خالزونيا كان لها بذلك درجة
في المرونة تباين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدا مستقيما وهذه المرونة
تستحسن في الآلات لاسيما في ادوات السفن وموادها

وفي كائنات القرى والارياف اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون
البياض على صورة شموع كبيرة فتوضع فيها شموع اعتيادية ويوضع تحت تلك
الشموع خالزون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا
الخالزون انضغاطا كبيرا اذا كانت الشمعة بحالها لم تنقص منها شيء فاذا حرق منها
جزء دفعها الخالزون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قبيلتها دائما في نقطة واحدة
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشمعة
الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاثقال المؤثرة في جهة هذه الالياف

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من المجهودات التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكثها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بتداول الزمن عليها لاسيما وهنالك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب تقتلها وتغير اوصافها الاصلية

وثم امر آخر ليس دون المتقدم في النقص بل ربما كان نفعه اعظم وان كان على ما يظهر دون القول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاوماتها المنبهة .

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يبلاد الفرنج يفرض أن القطع الجسمية القليلة الجمل تبقى على الصورة التي رسمت عليها رسما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغرها جدا ولكنهما مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسمية ولندكر لك شاهدا على ذلك فنقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والا لم تنظم في سلك الدونما الفرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلابد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل الفرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحمل الف نقر مع ما يلزم لهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم للحصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما تحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحائطين على جانبيها المتخذين من الخشب لان

سلكهما ان لم يرتد على سلك الجيطان الخارجة من المنازل القرنجية العادية فلا اقل
من المساواة لهما ولا يد أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها
محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من النحاس والحديد المعدن لحفظ جميع اجزائها
وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها
أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير ثم هو
في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر ينشأ عن عدم تساوى
التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجراء
تنحى في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وترا
طوله ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولاريب أن مثل هذا التغيير يعد جسما اذ به لم تبقى السفينة على حالتها الاصلية
بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم
الذى يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من
عشرين ملية ترا وهو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى
اعظم قامة من قامات النوع الانسالى

وقد كنت اقل من قصدى لتقدير هذا التغيير الغير البين الواقع في الاخشاب
فقد رت اولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك
المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولا شك انك
ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من
القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا
عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدو للنظر
عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولذلك هنا على سبيل الاجمال ما ألفناه من المباحث في شأن لين الاخشاب
وقوتها وحرورها بواسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسير سنة ١٨١٦
ميلادية وفي ترسانة تولون سنة ١٨١٦ م ثم في ترسانة دونكرل في سنتي ١٨١٦
و ١٨١٧ فنقول ان ما ألفناه في تجارب ترسانة قورسير مذكور في الجزء

العناصر من كائنا المعروف بجرنال المهندسخانة واما الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة تولون فصورتها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢)

قبري في (شكل ٢) تازجة كبيرة مثبتة عليها مسندان افقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وما فيه من صور قطع اخشاب البلوط او السرو او الزان او الزانج او الصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح

وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا للاختصار اثقالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المنشور مثل ضلع **أ ب ث** او

د ه ف ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستوى رأسي والمتمائل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الحبل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء

وهذا المنحنى هو الذى كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المنشور المنثنى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما عملته من التجارب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسى **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاثقال

ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوتر ثابت من عدة قسى فان انحناء

تلك القسي يكون مناسباً للسماح المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استبيطت
من ذلك القضية الانية التي توصلنا اليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهي أن انحناء
الاخشاب الناشئ عن اثقال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الاثقال وذلك
يكون بقياس هذا الانحناء بخط غ ب الذي هو سهم قوس أ ب ث اعني
بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فاذن اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندي اثقال مختلفة
صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة في النقطة
المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً ايضاً لهذه الاثقال
الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والثقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغي
النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله في صورة ما اذا حمل الجسم اثقالاً كبيرة
جداً اولاً وعليه فما يكون مقدار التغير الذي يعرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التي يغلب استعمالها في الفنون مع بيان اسمائها
وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً
كاخشاب السفينة الروسية المسماة ميخايل فانها تخربت سنين ثمانية من
الميلاد بعد ان استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يتبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب
تعيين القوانين التي تضبط بها قوة الاخشاب ومرونتها بواسطة نسب عامة
لا علاقة لها بالشدة الحقيقية للالياف التي على صورة الخطوط ولا بانواع
الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تبقى بالمقصود من الاستعمال اكثر من
الاخشاب المقطوعة حديثاً وبالجملة فالسرو والزان اللذان مضى عليهما بعد
القطع سنة واحدة يظهر من مرونتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب
التي مضى عليها بعد القطع خمس وعشرون سنة وهذا يتضح ما ذكرناه ويتنظم
في سلك البدييات

هذا وقد صنع اربعة مناشير او متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار سمكها ثلاثة سنتيمترات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حمل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها أولا سهام القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولية التي تظهر بين هذه السهام

وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم أولا أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرور والزان والارانبج يعلم أن الفروق الاولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تخلو في الواقع عن خلل هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة في الجهة المقابلة خلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعولنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الاولية الحاصلة بين جملة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الانتقال المحولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلمة للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلا قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلي المتحصل مساويا ٦ ٠ ٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور

وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لا بد أن يترك حلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولهما تترحق الالياف الخارجة من المنشور تزجلقا غير متواصل بل يكون باندفاع تلك الالياف ووثوبها وثوبا ظاهرا كثيرا كان او قليلا ولا تنس اتنا كالمقيمين ببلدة ليس بها شئ مما يخص الفتون حتى الموازين المضبوطة ضبطا كافيا بحيث يتوصل بها في تحرير الشئ وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من الف وسياى أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحدة المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حمل كبير جدا يبلغ قدره ٨٠ كيلو غراما قابلنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حمل يبلغ قدره ٤ كيلو غرامات فقط فوجدنا بما يناسب ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيرا اذا كان الحمل كبيرا ومثله البلوط والراتنج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهى ان هذا الخشب يخنى اكثر من غيره من انواع الخشب التى تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جدا فى صورة ما اذا كان الحمل كبيرا بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة فى هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان فى غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخروطه لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البحارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يتحمل ما يعرض له من الجهود العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة فى الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الاثقال عليه لا يمنعه من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقله لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريبا فهى على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التى تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة فى التجارب المتقدمة فكانت فى الترتيب كالمقاومات التى تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة فى شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحدتان في حجم الخشب لا في نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل يكون تقوسها او انحناءها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف لان تقوس السفن يكون على حسب لين خشبها فاذا نيلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطق والفلنك اكثر من تقوس سفن البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هناك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدر الاوتوعا فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشهير دون جرجي جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالأخشاب الصغية لامن خشب البلوط

وبالجملة فالجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق حساب النتائج المتشابهة وتحصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وبهذه الطريقة تعرف اوصاف الاخشاب التي تلايم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما فن العمارات البحرية ايجاد المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم نفعوا واكثر فائدة

وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتحددة الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا بالقواعد العلمية حقيقة هذه التجربة

فاذا انثنى متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان انحناء متوازي السطوح

ولاجل إثبات تأثير مد الالياف وانقباضها اخترع المهندس دو هاميل
تجربة بدیعة وهی انه نشر من المنتصف نشر عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة
ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حزم المنشار خابورا رفيعا جدا من خشب
اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفيها وكانت
الواجهة التي بها حزم المنشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع
كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه
من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية
فان كان حزم المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والا فصغيرة
ومتي تعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك
استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المد والقبض المفروضين في ألياف
قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودون كرك من
التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعماقليل نشر ذلك
ونشره

وبعد أن حصلت التجربة في تحميل قطع الأخشاب بالثقال مجتمعة حصلت ايضا
في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد أن الاثقال سواء
كانت مجتمعة في منتصف قطعة الخشب او موزعة على طولها توزيعا منتظما
تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى
ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الأخشاب المتنوعة
الصف والاختلاف الابعاد

فان اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فبتضعيف خمسة اثمان
السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفيها اسنادا اقويا يحصل السهم
الذي يكون لها عند تحميلها ثقل مساويا لثقلها لكن بشرط اجتماعه
في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الأخشاب الثقيلة
الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون سمكها ثابتا لا يتغير

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب سميكتهما واحد ينثيان كقوسين سهميهما مناسبان لكعبات ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون ككعب السهل المقابل له وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجمال تتوصل الى هذه النتيجة الغريبة

وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعدهما المتناظرين متناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان سهمي القوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلى يكونان مناسبين بالضبط لمربعي طولى هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا تختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة او متوزعة الآن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العمارات والاكالات على اختلاف انواعها متناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب المقابلة بين سفينتين متحدتي المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له في صورة انحناءهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي

ثم انه يلزم الآن معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزداد كربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة التي طولها ستون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها مترا واحد عوضا عن أن يكون جزءا من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف مئروهي نسبة بسيطة تتعلق بالاطوال
ولنشرع الآن في بيان ~~تفسير~~ كسير الاخشاب فنقول ليست الاخشاب قابلة
الا لانتباض ومد معينين بحيث اذا تجاوزتهما اندقت وتبططت او تكسرت
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب
في النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والراتنج ونحو ذلك في الاشجار
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكايلي ونحوهما وبذلك يتحصل درجة
ثانية من الاخشاب وهناك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة
الذي هو اعظم المغروسات بالولايات الفرنجية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة في الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل
في العمارات الدائمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء
الاتالات المعدة لتحمل مجهودات عظيمة الاخشاب النباتات الشديدة الصلابة
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كخشاب الدرجة
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التي الغرض الاصل
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

واما خشاب الدرجة الاولى فينبغي قصرها على الاشغال التي يشترط فيها المرونة
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصواري السفن
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريت عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لاختساب
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق
المعرفة فاذن يمكن في جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم اذا كان المؤيد له اعانات عملية هينة ليست على ما ينبغي

ولنبحث عن قوة الخشب عند مقاومته للتكسير فنقول اذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **أ ب ث د ف** (شكل ١) وثنيناها على **أ ب ث د ف**

(شكل ٢) فان ليف **أ ب ث** الخارج يمتد وينسط وليف **د و ف** الداخل يتقبض وينكمش واذا رسمنا عدة مستقيمات كستقيمات ١١ و ب ٢ و ج ٣

القائمة على واجهة **أ ث د ف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فان خطوط ١١ و ب ٢ و ج ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط **أ ب ث د و د ف** (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند انثنائها على بعضها لا يترحلق بعضها على طول البعض الاثر مثلا بعض ألياف الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر ايضا في مسافة

١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تتقبض يفصل بينهما **م ن و** الذي لا يمتد ولا يتقبض فلذا سمي بالليف الثابت

ومتد الالياف خارج ليف **م ن و** الثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متحدة النوع والقوة متى ثبتت على اى منحني كان تكسرت اذا امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتنية على محيط ما يزيد سمكها او يتقص بشرط أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط فتكرر سمك القطعة المذكورة مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان متد الليف الخارج يتكسر ايضا مرتين او ثلاثا

اواربعا فاذن اذا نقص منحنى محيط ا ب ث بنسبة ازدياد سهمك قطعة الخشب المتقدمة فان درجة مد الليف الخارج تكون واحدة دائما

ومتى ثبتت قطعة خشب كقطعة ا ب ث (شكل ٣) مستندة على مسندى ا و ث وواقع عليها تأثير قوة ف التى هى على بعد واحد من نقطتى ا و ث ظهر أن نصف قطر انحناء ا ب ث فى نقطة ب التى هى منتصف هذا المحيط يكون مناسباً لمكعب بعد ا ث عن مسندى ا و ث

وفى الانحناءات الصغيرة جداً يكون ر الذى هو نصف قطر انحناء ا ب ث مناسباً $\frac{ا ث^3}{غ ب}$ يجعل غ ب عبارة عن سهم ا ب ث فاذن يحدث

$$ر = \frac{ا ث^3}{غ ب} \text{ و } غ ب = \frac{ا ث^3}{ر}$$

وحيث ان قوة ف مناسبة غ ب فان ف تكون مناسبة $\frac{ا ث^3}{ر}$ ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم غ ب ومنعكسة من مكعب ا ث الذى هو بعد المسندين فاذا جعلنا د رمزا الى عدد ثابت حدث

$$ف = د \frac{غ ب}{ا ث^3} \text{ و } ف \times ا ث^3 = د \frac{غ ب}{ا ث^3}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة ا ب ث (شكل ٤) سمكها كسمك قطعة ا ب ث (شكل ٣) حدث ايضا

$$ر = \frac{ا ث^3}{غ ب} \text{ و } ف \times ا ث^3 = د \frac{غ ب}{ا ث^3}$$

وحيث كان يلزم أن $\bar{r} = \bar{r}$ في حالة التكسير يلزم أن يكون

$$\frac{\text{ا ث}^2}{\text{غ ب}} = \frac{\text{ا ث}^2}{\text{غ ب}} \quad \text{فبناء على ذلك يلزم أن يكون} \quad \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} \times \text{د} = \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} \times \text{د}$$

فاذن يكون $\text{ف} \times \text{ا ث} = \text{ف} \times \text{ا ث} \times \text{ا ث} \times \text{ا ث}$

انه اذا ثبتت قطعة من الخشب بين مسندين بعدهما متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تردد ادب نقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التفتنا الى كل من سمك \bar{b} وبعد \bar{a} معا وجعلنا \bar{m} رمزا الى عدد ثابت كان مقدار قوة \bar{f} التي ينشأ عنها الانحناء هو

$$\text{ف} = \bar{m} \times \text{غ ب} \times \frac{\bar{b}^3}{\text{ا ث}^3} = \bar{m} \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} \times \frac{\bar{b}^3}{\text{ا ث}}$$

فاذا بلغت الاخشاب المختلفة السمك الحالة التي يحدث فيها التكسير كان نصف قطر \bar{r} على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا \bar{c} عبارة عن عدد ثابت حدث

$$\bar{r} = \bar{c} \times \bar{b} \quad \text{فاذن يكون} \quad \bar{f} = \frac{\bar{b}^3}{\text{ا ث}} \times \frac{\bar{c}}{\bar{c}}$$

فاذن اذا كان \bar{a} الذي هو بعد المسندين باقيا على حالة واحدة كانت قوة \bar{f} التي يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السمك

وهذه الخواص عامة في متوازيات السطوح المربعة التي تتكسر بمجرد انحنائها انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة في الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحي والعوارض والاخشاب المربعة على حسب الاصطلاح القديم نجعلها رقيقة جدا اذا كانت اقمية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما في ذلك من مزيد العائدة

ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدتي الطول وسمك
أحدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الأخرى ٣ وسمكها ٣
(شكل ٦) فنقول

أن مقاومة العارضة الأخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروباً
في مربعه وهو ٩ فيقتضى أن يكون $٩ \times ٣ = ٢٧$ هو مقدار مقاومة
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر $٩ \times ٩ \times ١ = ٨١$
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة أمثال العارضة المربعة في الشدة
والصلابة

وإذا كان هنالك قطع خشب أو حديد أو نحوها متفرقة سواء كان المطلوب
استعمالها في عمارة أو آلة وكان الغرض منها مقاومة الشئ ثم الكسر في جهة معينة
لزم أن يكون سمكها كبيراً في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليسيرت دلورم المهندس الشهير وهو أول من صنع
تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الألواح المتقاطعة الأطراف
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برمية محجوفة فبانضمام هذه الألواح إلى بعضها
يتكون منها تخشيبات خفيفة إلا أنها متينة صلبة تتحمل القباب والسقوف
وما أشبه ذلك

فإذا اقتضى الحال مقاومة الشئ والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد
من وجود المتانة والوفر معاً وذلك باستعمال قطع أخشاب صورة جانبها كصورة
الصليب اليوناني (شكل ٧) أو كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها
ثنيات بارزة جداً ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الآلات المتخذة من
الخشب والمعادن

وإذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فإن مقاومتها عند الكسر حيث أنها
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السمك تكون أيضاً مناسبة للقطر

مضروبا في مربعه اعني في مكعب قطر الاسطوان غير المجوفة المستديرة التي يقع عليها تاثير الثني ثم الكسر

وفي الاسطوان المجوفة فوائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لانتظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ما هو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعدة لتحريك الاجنحة واذا قابلت خفة الريش بمتانة وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة وهناك كثير من هذا القبيل

* (الدرس الخامس عشر) *

* (في بيان اصطدام الاجسام) *

قد سبق ذكر المقاومات غير البينة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتماسكة على بعضها ولندكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقى جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينئذ اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتطام فنقول ان سائر الاجسام الطبيعية في حال انفرادها اذا وقع عليها تاثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تاثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها
وكل جسم ثبت له هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى
جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخو بواسطة ضغط او اصطدام او قعنا عليه تأثير
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مائع فلا يلزم
ابقاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء والجوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تتباعد عن بعضها بكمية
لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبعد بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة
ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولوقتيا وهذه هي الاجسام التي يصح أن تسمى
بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي \bar{A} و \bar{B} (شكل ١)
يتحركان على مستقيم \bar{G} المار بنقطة \bar{G} و \bar{G} اللتين هما
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي \bar{C} تكون عند
الاصطدام على مستقيم \bar{G} \bar{C}

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم
 \bar{G} \bar{C} المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما ونفاضلهما على
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين
في الجهتين كان فاضلهما صفرا

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم أو السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة احد الجسمين المتحركة هو عدد آحاد جسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة تظهر لنا فوراً أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد أو كيلوغراما واحدا الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من القوة المذكورة بمائة مرة وهلم جرا

واذا قدرنا بهذه المتابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تحركا منتظما بواسطة افعالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا M و m رمزين للجسمي X و x و Q و q رمزين للسرعتين الدافعتين لهما اتحصل معنا كيتا تحركهما وهما Mq و mQ اعني القوتين الدافعتين لهما ولنجعل X كتابة عن Mq و x كتابة عن mQ

ومتى تحرك الجسمان في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المتحركتين وهو

$Mq - mQ$ هو القوة المحصلة المتحركة لجسم $M + m$ وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي القوة مقسومة على الجسم فاذا ن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{Mq - mQ}{M + m} = \frac{X - x}{M + m}$$

وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي $مق + م٢$ ولا تكون بعده الا $مق - م٢$ فاذن تكون كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية $٢ م٢$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرنيين فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية لضعف اصغر الكميتين المذكورتين

فاذا اريد حينئذ أن لا تنعدم قوة ما في تحرك الاكالات لزم أن لا يكون هناك اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الاكالات المتحركة في جهات متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الاكالات وتحركها فان كل وثبة او تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك دائما وثانيهما تغيير صلابة الآلة ومداها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المتحركة لجسم $م + م٢$ تكون في مدة الاصطدام $مق + م٢$ وتكون السرعة التي يتحرك بها هذان الجسمان هي

$$\frac{مق + م٢}{م + م٢} = \frac{م١ + م٢}{م + م٢}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية فنفرض أن الجسم $م١$ بجسمته قدره ٣ كيلوغرامات والجسم $م٢$ بجسمته قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا أن $م١$ يقطع مسافة مترين في مدة ثانية واحدة وأن $م٢$ لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة مترواحد فتكون كمية تحرك جسم $م١$ هي $مق = ٣ \times ٢ = ٦$ وكمية تحرك جسم

$$م١ هي $م١ = ١ \times ١ = ١$$$

فاذا تقرر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث $مق - م١ = ٦ - ١ = ٥$ و $م١ + م٢ = ٣ + ١ = ٤$

فاذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما $\frac{1}{2}$ اعني أن كلا من الجسمين يقطع $\frac{1}{2}$ من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغير له سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فإنه يتحصل

$$م = ١ \times ٦ = ٦ \quad \text{فاذن تكون} \quad م = م = م \quad \text{و بناء على ذلك يحصل التوازن}$$

فإذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اثقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائماً شواهد دالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيلة قليلا او كثيرا على حسب مجسم الجماد او الحيوان الذي يدفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجماد وتأخيرها وسقوطه كما هو العال بغير ثم نرى الصياليان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هو اكبر واثقل منهم بكثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهويناء ومن هذا القبيل ايضا العرب الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فإنها عند الاصطدام تقبل العرب التي تكون اثقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكتائب ذات صف او صفين ثم تزحف بسرعة تترايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكتائب خيالة كانت او قزاة والغرض هنا معرفة ما يتحصل حينئذ مما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتنظر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتبية الصادمة على الكتبية
المصدومة مساويا لفاضل كميتي تحركهما مقسوما على مجموع الكتبتين
ولنفرض أن الكتبية المهجوم عليها تثبت محلها أو تمشي الهوى ناحتي تصادمها
الكتبية الهاجمة فحيث ان كمية تحرك الكتبية المهجوم عليها تساوى الكتبية
مضروبة في سرعة تساوى صفرا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون
موازنة لكمية تحرك الكتبية الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقال
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت
سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها
ورجالها الخفاف المندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصل من هجوم
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية
التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق الا بالكتبية والسرعة في هذا
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا تلطيف تحرك
جسم ثقيل وقع من ث الى ح (شكل ٢) بسرعة معجلة فلا يلتفت

عند وصوله الى ح الى ما كان له من السرعة في ع و ع و ع الخ
اذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة اعنى اذا كان متحركا على
الدوام بسرعه الاصلية ولم يأخذ في مبدء تحركه سرعة هيئة تزداد بالتدريج
فاذن تكون مصادمة الشامردان للخابور واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدء الامر
بطيئا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى
الا في وقت الاصطدام

ولندكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى بنا خطوة خطوة
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالخبب والرابع وهو الاخير بالركض
والعدو بحيث لا تنقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بجسم واحد
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كما لو كان الخيول من مبداء الركض
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه
السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير أن تتجدد فيها قوة
اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من
الوضوح والظاهرا ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف
ويوقف على حقيقةها الا بعد مضي عدة قرون
وذلك أن الامة الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديّة الخفيفة
فانها علمت بهذه القواعد فظفرت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها
وايضا لما كانت قلّة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عما لا بدّ لهم منه كان امراء
الرومان الشوالية ينتهزون الفرصة وينزلون على الارض ويقاوتون بجميع كية
التحرك التي تصدر من الابطال وفحول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي
ولامن الجرى

وقد مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات
فريدريق التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر
وتجربى هذه القواعد ايضا في حروب القزابة وسائر الجيوش على اختلافها
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكتائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها

هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها نقط مادية ولنعتبر
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها وتحركها فنقول

إذا فرضنا أن جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة
أوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم $\overline{غ}$ الواصل بين مركزي النقل ثم فرضنا
أن سطحي هذين الجسمين عمودان في تقطعي $\overline{ث}$ و $\overline{ث}$ على مستقيم $\overline{غ}$ المذكور
فإن القوة التي تصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ تنعدم بواسطة سطح $\overline{م}$
وكذلك القوة التي تصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ فإنها تنعدم أيضا
بواسطة $\overline{م}$ هذا إذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحي الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم
 $\overline{غ}$ إلا أنهما متوازيان في $\overline{ث}$ و $\overline{ث}$ الموضوعتين على مستقيم $\overline{غ}$
الواصل بين مركزي ثقل جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن $\overline{ا ث}$
و $\overline{ا ث}$ رمزين إلى جزئي مستقيم $\overline{غ}$ الدال على كميتي التحرك
الدافعتين لجسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ ولتعد $\overline{ب ث}$ عمودا على الاتجاه المشترك
بين جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ في $\overline{ث}$ ثم تعد $\overline{ا ب}$ و $\overline{ا ب}$ عمودين على
 $\overline{ب ث}$

فإذا حصل الاصطدام تحركا أولا جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ تحركا مستقيما
في جهة $\overline{غ}$ بسرعة مشتركة مقدارها $\frac{\overline{ا ث} + \overline{ا ث}}{\overline{م} + \overline{م}}$
وثانيا يدور $\overline{م}$ و $\overline{م}$ حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر
 $\overline{ب ث} - \overline{ب ث}$ و $\overline{ب ث} - \overline{ب ث}$ ومقسومة على مقدار
اينري $\overline{م}$ و $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتفصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة
ما إذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزي ثقلهما
وهناك صورة أصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

تماس الجسمين عند الاصطدام موجود على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل

غ و غ

ولما انهنسا الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين

على مستقيم واحد مناسب أن تكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين

بينهما زاوية ما ويتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ

هما القوتان الدالتان على كميتي التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رسمنا متوازي

الاضلاع وهو أ ب د ث الذي ضلعا وهما أ ب و أ ث مناسبان

لقوتي ح و خ كان وزنه وهو أ د دالا على كمية التحرك الدافعة

للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان

الجسمان بعد الاصطدام اذ لم يكونا مرتين فاننا اذا جعلنا م و م رمزين

لجسمي الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من أ د و م ق + م ن

هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منح

متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن القليل

الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير مماثل للمنحنى في النقطة

التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلاً بندولين بسيطين كبندولي ح و خ

(شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين

الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا

في الوضع الذي يكون فيه كل من خيطيهما رأسيا لان جسمي ح و خ

يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع غ خ

المماسين في ح و ح لمستقيم ط ط

فاذا رفعنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسمي ح و ح

المتساويين فانهما ينزلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ع
فيتصادمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان
هنا من الجهتين فان التوازن حينئذ يكون حاصل ولا يتحرك الجسمان بعد
الاصطدام

فاذا كان احد الجسمين كبيرا حصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{مس معادلة} \quad \frac{م ق - م ن}{م + م}$$

ولنختبر الآن اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر
على نفسه فنقول

لنفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركز ثقله في غ يدور حول
محور ث المين بنقطة ث وقد ابتنا في الدرس السابع من هذا الجزء
انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن
أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا بتمامه في نقطة ث
ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بسائر كمية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير
سرعة هذا الجسم المتزوية ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه
مانع مثل م وانه في نقطة أ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح
المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث أ العمودي على ث ث فينعدم
جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذا بقي الجسم ساكنا
بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا وتعرف
نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث
يكون بعد شد اكبر من ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)
فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوتى ف و ف يكاد ينثنى او يتكسر
بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١)
فيحدث بموجب توازن القوى المتوازية

$$ف \times ث = ث \times ف$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام
مساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكلما كان الاصطدام حاصلا على مستقيم اف ولم يكن على
بعد من ث = ث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام
فاذا كان ث (شكل ١٠) اكبر من ث دفعت مقاومة
الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان
ث اصغر من ث دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة
دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فستعمل غالبا المطارق والمقابع التى تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل
الاصطدامات * ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)
مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة فى شكل ٩
فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندال و ا هى النقطة التى
يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى فى نقطة ا على سطح
المطرقة مارا بنقطة ث التى هى مركز الالتطام وكان مستقيم ث
عمودا على ا ث

فاذا تحرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة
مستوفاة عرض اليد مقاومة مؤلة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مصادة
لجهتها او مغموطة فى جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التى يقع
فيها الاصطدام قربا قليلا او كثيرا او بعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم لجسم يستعمل في تحريك بندول يرتج حول محور
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطولية
فلنفرض كتلة مجسمة من الخشب ككتلة M (شكل ١٤) محاطة بروابط
من حديد ومعلقة في محور θ بقضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كتلة ككتلة m في بندول m ولا بد أن نحدد بها بحيث
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة θ التي هي مركز الالتظام فاذا وفينا
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو θ وتكون سرعة
البندول المنزوية مساوية $m \times \theta$ ومقسومة على مقدار اينرسي
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار اينرسي البندول ومجسي m و m وبعد θ علمت
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المزدفوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس
اهمية عظيمة في فنون الطوبجية
وقد تقدم أن القوى تنعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان
المطلوب أن القوى لا تنعدم كما هو الواقع في اغلب الآلات لزم أن تجتنب
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التحركات
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن أن تكون متواصلة
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما
بعض اصطدامات مضرة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرعة
ويتخلل بها ما تلاقيه علم من ذلك أن اجود الآلات هو ما يكون تحرکه صادرا
مع الانتظام واللفظ بدون قرعة ولا اضطراب
ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه
الاصطدامات في الطارات المضرة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و يتفك في وقت دفعه لضرس د من طارة و قبل أن يصل ضرس د الى ضرس د من الترس الصغير فلا يجد هذا الترس حينئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحركه تحركا تقهقريا حتى يتلاقى د مع د فاذا حصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د الى د قبل انفصال ضربي د و د عن بعضهما

ولندرك ذلك هنا الملاحظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجري في سائر انواع الآلات فنقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لجزءها الاسفل انكماش وانقباض وجزءها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين أولا امتداد الياض الخشب او انكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانفصالها عن بعضها وثالثا انثناء المسامير المسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير انها فيما بعد لا تنقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لا تتصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذا لم يوجد عظيم الاتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيراً شديداً

والتخلل هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثير اعلى حسب الاجراء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الانفصال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

والأفرض أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزائها متحركة فان أول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذه من الاتجاهات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة اينرسيا والى هنالم يتقص شيء من كية القوى النشاطية الدافعة للسفينة بتماها

وانما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء حدث عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكفي الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتنكمش وبالا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ دائما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هوانا شيء بالضرورة عن السرعة الغير البينة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسق السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا او في حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا الثابتة كثيرا او قليلا او الدافعة كثيرا او قليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند المقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كنعبان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتزوج ينحى وينثنى في المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره بتلك المثابة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزاء المتنوعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من التحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحركين مجسما وسرعة فعوضا عن
كونهما يتوازنان ويلازمان السكون يعدم كل منهما قوة الاخر ويحول اليه
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له
من السرعة قبل الاصطدام ولا تتغير كية تحركه وهذه الخاصة للاجسام المرنة
المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير المجسمات والسرع بحيث يبقى مجموع
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولنذكر هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم A
الساكن (شكل ١٦) يصادمه جسم B المتحرك معه في الجسم وهو
م وفي السرعة وهي C فتكون كية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم A
و M بالنسبة الى جسم B فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة
للجسمين هي M فاذا نوصل جسم B الى جسم A ساكن كية
التحرك وهي M غير أن جسم A لا يمكنه أن يوصل الى جسم B
الأكية تحرك تساوى صفرا اعنى معدومة فاذا نعدم جسم B كية تحركه
بتمامها يبقى ساكنا وما جسم A الذي اخذ جميع كية تحرك جسم B
واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم B
ولنفرض الآن أن هناك (شكل ١٧) ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم
كاجسام A و B و C وليكن جسم C هو المتحرك دون
غيره فبصادمة هذا الجسم لجسم B يوصل اليه جميع كية تحركه ويبقى
ساكنا وكذلك بصادمة جسم B لجسم A يوصل اليه جميع كية تحركه
ويبقى ساكنا فاذا نتحرك جسم A دون غيره بكمية التحرك التي كان
يتحرك بها جسم C

ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائماً كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير الى الامام بجميع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير وتضع هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة ك من العاج مثل **ا** و **ب** و **ث** (شكل ١٨) تعلق بخيوط على صورة بندولات فاذا ابعدت اقولا كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسي الممتد من نقطة التعليق والاخرى عن شماله وخليا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان الى الخط الرأسي في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتقهقران في طريقهما بالسرعة المذكورة .

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الارتفاع بالضبط الى ارتفاع مبدء سيرها فاذا وقعت كلاهما من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائم غير ان العاج ليس من الاجسام التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد الاكر عقب كل اصطدام شيئاً الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجات كميات تحرك تلك الاكر بالكلية

واذا علقت ثانيا ثلاث اكر من العاج وكانت مماسة لبعضها بالطبع ورفعت الكرة الاولى وهي **ا** الى **ح** (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة المتوسطة وهي **ب** تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخيرة وهي **ث** الى **خ** في ارتفاع نقطة **ح** ثم تقع ثانيا وتوصل تحركها بواسطة كرة **ب** الى كرة **ا** فتصعد الى **ح** ثم تهبط كالمرة الاولى وهلم جرا ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربع اكر وخمس اوست او اوى عدد كان من الاكر .

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل نذكر ايضا قوانين اصطدامها المنحرف مقتصرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت ومستو والاخر كروي روما للاختصار حسب الامكان فنقول انه في الوقت الذي يتلاقى فيه في نقطة **ث** كرة **ض** (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المتحرقة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة $\overline{ث}$ بقوة تساوي أو $\times \overline{ثف}$ الذي هو خط عمودي على $\overline{أوف}$ ولترسم مستطيل $\overline{أشوك}$ الذي ضلعاها $\overline{وك}$ و $\overline{أش}$ موازيان لمستوى $\overline{من}$ وضلعاها الآخران وهما $\overline{أك}$ و $\overline{وش}$ عمودان على هذا المستوى

فثبت ان قوة أو تتحلل الى $\overline{وش}$ و $\overline{وك}$ اذا كانت الكرة والمستوى جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معنا اذن الا $\overline{وك}$ واما قوة $\overline{وش}$ التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدمها هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى $\overline{من}$ من ضغط $\overline{وش}$ تتحرك الكرة المدفوعة بقوة $\overline{ك و}$ والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة

وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التزحلق على مستوى $\overline{من}$ فانها تتدحرج على هذا المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى يتماهم مصقولا بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط

$\overline{وش}$

فاذا لم يكن للجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا المستوى على وجه بحيث يصعد مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول

ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهود المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت يتماهم أن نستعمل دائما اجساما محيطاتها مستديرة كالأكر والاسطوانات والنخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فاذا كان معاندا لاعتن الجسم الصلب جسم رخو يصادم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة في الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرونة بجسم أ يصادم مستوى مرن (شكل ٢٠) فان قوة أ الدافعة له تنحل الى قوتين اخرين احدهما وش التي تدفعه عموديا على مستوى

مرن والثانية وك التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذا يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى مرن الثابت

وحيث ان قوة وش مؤثرة عموديا على مرن كان يجري عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذا يلزم أن تحوّل قوة وش بتمامها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة وش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرن بجسم و يتحرك منتظم مستقيم الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من وك موازيا للمستوى الثابت ومن ش و عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من وك = وك موازيا للمستوى

الثابت ومن وش عموديا على هذا المستوى وحينئذ يكون خط وأ الذي هو عبارة عن اتجاه المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازي الاضلاع القائم الزوايا وهو ش و ك المساوي ش و ك ا
فالذن تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صادم جسم تام المرونة مستويا ثابثا مصادمة على حسب زاوية
تعرف بزاوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته و ياخذ اتجاهها جديدا
يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهي
مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صدمت
الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها ترتد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية
الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجملة فلعب البليار مبني على
معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلاً أن خانة من خانات البليار كخانة ث (شكل ٢١)
موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي ا و ب فاذا مددنا ا ولا مستقيم
ش ب حتى وصل الى خط م ن وثانياً مستقيم ا ه حدث معنا
أن زاوية م ه ب = ن ه ا فاذا دفعنا كرة ا الى نقطة ه
انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت
واما ب فانها تنتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة ا بتمامها عند
الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب
في الغالب على اتجاه ش ب القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢
فيلزم اذن أن كرة ا بعد أن ترمي الى ه وتنعكس بحيث يكون ا ه ن
= م ه ا تصل الى وضع ا لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث
(وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم س ه المماس لكرتين في نقطة
تماسهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادتان منه مع مستقيمي
ب ث و ا ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليارد يستلزم أن يكون النظر متمركزا على تصوّر
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليد أيضا متمركزة على ما يرشدها النظر اليه
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة في اطلاق المدافع لها
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي أنه اذا اطلقنا كرة متوسطة الثقل ككرة α
على اتجاه $\alpha\beta$ (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكرة
الواصله الى الارض بواسطة التثاقل تقع في نقطة α على حسب زاوية α أكبر قليلا
من زاوية β $\alpha\gamma$ وتنعكس حينئذ على حسب زاوية β $\alpha\gamma$ المساوية
زاوية $\alpha\gamma$ تقريرا ثم تقع مرة أخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط
 $\alpha\gamma$ عدة مواقع يلزم ان التهاقنا نطلق عليها الكلال عدة مرات حتى يحصل بذلك
الاصطدام والانعكاس او الوثوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية
او الوثوبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكرة على اجسام صلبة كالخردل
المبنية بالا حجارا والاخشاب وكالحصون المثينة والسفن واوضر بنايها على ارض
مبلطة او برية متسعة او ثلوج كما فعله العساكر الفرنسيون في واقعة اوسترلتن
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجساما مرنة على سائل تضرب سطحه
على حسب زاوية سقوط صغيرة
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا
مسطحة فان هذه الاجار تنب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على
حسب كبر قوة الرامي وصغرها وخفة يده عند الرمي
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية
السقوط واعظم الالات الفرجية ضبطا هو ما تتحقق به مرونة تلك الاجسام
وقد تقدم في مجتث الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة يتقدم
جرء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة
المرونة ونادري في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعل استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض لعجلاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في ممرها وجدنا ان الاينفع في تلك العربات ان تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جراً من القوة الاقضية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العربات المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنثنى على نفسها حين تتخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربات يرتفع به قليلا وكثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربات بعد الصعود فان اليايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصل بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا في القبول بين رجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لا

العربة المترايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي انه يقي تحسرا المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضرب تلك المنقولات وتجنس بقيتها فاذا علقنا هذه المحصولات على يايات لاجل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك المحصولات حفظا تاما والثانية انه يكفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنين وجرى عليها العمل قري مدينة باريس بجهة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما نقل الاثقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وهيكل ما يتعرض للعرض لاجلها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة اخرى وهي

تقليل ما يتعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعها بالكلية

ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها

كاليان كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري

ومن الطرف الاخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت

في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجيا

بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة

من الحبال والمضافة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها

بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان نقصت هذه القوة الدافعة فان

قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج الى طولها الاصلي واما الصواري

التي لمرونتها تخفى بمجرّد مدّ الحبال فانها تعتدل بواسطة هذه المرونة ويكون كل

من الحبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع

ومن المهم جدا أن تمتد الحبال مدّا قويا قبل استعمالها في اسناد الصواري

كالجواغيص والاطراف وذلك لان تلك الحبال في مبداء استعمالها تكون

عزينة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود

الى امتدادها الاصلي عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبداء الامر

أن تمتد حتى تبلغ الغاية في الحد قبل أن يتحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها

مما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكويرات الثلاثة المسمّاة بتجارة باريس حين

انكسرت صواريها العليا بين جزيرة فرسقة وافريقة لرداءة الهواؤ فتبد

وكان منشأ ذلك أن تلك السفينة كانت قريبة عهد بالتطعيم فكانت صواريها

ممسكة بحبال لم تبلغ في المداخذ الا لازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كثر

المقاومة النافعة الكافية

واذا اريد وضع اهو ان ثقيلة في جوانب السفينة ليرمي منها كل ذات اثقال

عظيمة لرم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمي السكة الدافع للهاون على

السفينة دفعا قويا بأن يتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرنة على تلك الممرات
ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط الحاصل من الهياكل فتبقى بذلك خشاب
السفينة على اختلاف انواعها من التمزق والتكسر
فاذا وضع السندال على بناء صلب خال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات
المتوالية الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجزاء الموضوعة
عليها هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مرين
ككتلة من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتلة
لحمه التنف

وإذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من الحديد ونصابها من الخشب فان الاصطدام
الحادث من رأس المطرقة يوصل الى نصابها الارتجاجات تتعب يد الصانع كثيرا
لا سيما في مثل اشغال النحاس والسنكري لان ضربات المطرقة فيها تكون
متتالية على سطوح مرتجة فاذن يلزم الاهتمام بجعل قبضة النصاب اعظم من
حجم الموضوع في رأس المطرقة حتى تمر الارتجاجات بقطاعات تكون سعتها
في مبدء الامر قليلة ثم تمتد شيئا فشيئا وبذلك تأخذ شدتها في القلة والضعف
من التدريج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحس بها الا احساسا هينا
الى هنا تم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون * في تطبيق الهندسة
الى الفنون * على يد مصححه المستنصر بمولاه القوى * الملتحق اليه تعالى محمد
طلحة العدوي * بعد مقابلة على اصله مع مترجمه * ومعرب كلمه * السيد صالح
تندى وكان تحرير الفاظه الاصطلاحية * ومداها *

معرفة حضرة محمد افندي يوم راحة ربه
فاعادته * * * * *
المستندون عليه * والمرجع
مدير المدارس * التي هي
عادة من اللو آء ادهم لا زالت

ماء لولى النعم وانجباله بدوام السعادة والسود

